



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Eleri Laidma

**SAASTEOSAKESTE LADESTUMINE ROHTSETELE
TAIMEDELE MAANTEEDE ÄÄRES**

**ACCUMULATION OF POLLUTING AGENTS ON
HERBACEOUS PLANTS ON THE EDGES OF ROADS**

Magistritöö
Linna- ja tööstusmaastike korralduse õppekava

Juhendaja: dotsent Ele Vool, *PhD*

Tartu 2017

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Eleri Laidma		Õppekava: keskkonnakaitse	
Pealkiri: Saasteosakeste ladestumine rohtsetele taimedele maanteede ääres			
Lehekülgi:47	Jooniseid:14	Tabeleid: 2	Lisasid: 1
<p>Osakond: Keskkonnakaitse osakond</p> <p>Uurimisvaldkond: Linnakeskkond, 1. Bio- ja keskkonnateadused 1.8.</p> <p>Keskkonnaseisundit ja keskkonnakaitset hõlmavad uuringud</p> <p>Juhendaja(d): Ele Vool, <i>PhD</i></p> <p>Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2017</p>			
<p>Uurimuse eesmärk oli selgitada välja tiheda liiklusega maanteede ääres kasvavate rohtsete taimede saasteosakeste immobiliseerimisvõime. Uurimuse raames loendati saasteosakeste arvu Võru ja Tartu linna suunduvate maantee äärest korjatud rohtsete taimede lehtedelt. Saasteosakeste ladestumist vaadeldi vahetult tee äärest, 5 m ja 10 m kaugusel tee äärest kogutud taimede lehtede pinnal. Kokku vaadeldi 22. taimeliiki. Andmete töötamiseks kasutati ühefaktorilist dispersioonanalüüsi (ANOVA). Vaatlusandmete põhjal selgus, et tihedama liiklusega teede servades kasvavatel taimedel esines rohkem saasteosakesi, kui madalama liiklustihedusega teede servades vaadeldud taimedel. Kõige rohkem loendati saasteosakesi vahetult tee äärest korjatud taimedel ja ülekaalukalt oli neid 16-30 µm suurusklassist. Lehe morfoloogiast lähtudes esines enam liike rühmast hajusalt karvased jäigad lehed, kuid parimad saasteosakeste kogujad olid pehmete paljaste ja tihedalt karvaste lehtedega taimed. Uurimuse tulemustest võib kokkuvõtvalt järeldada, et liiklustihedus ja taime kasvukoha kaugus tee servast mõjutab saasteosakeste hulka rohtsete taimede lehtede pinnal. Saasteosakeste ladestumise hulk lehepinnal sõltub aga liigist ja selle lehe morfoloogiast. Tulemuste põhjal saab soovitada, et taimestik peab olema reostusele võimalikult lähedal ja teede ääred peaksid säilima rohelistena, eriti tiheda liiklusega ning inimeste poolt asustatud kohtades sh sõidu- ja kergliiklustee vaheline ala.</p>			
Märksõnad: õhusaaste, liiklustihedus, taimelehe ehitus, leheseis			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Eleri Laidma		Specialty: environmental protection	
Title: Accumulation of polluting agents on herbaceous plants on the edges of roads			
Pages: 47	Figures: 14	Tables: 2	Appendixes: 1
Department: Department of Landscape Management and Nature Conservation Field of research: The urban environment, 1. Bio- and Environment sciences 1.8. State of the environment and the protection of the environment include research Supervisors: Ele Vool, <i>PhD</i> Place and date: Tartu, 2017			
<p>The purpose of the study was to examine the ability of herbaceous plants to immobilise polluting agents near roads with heavy traffic. This study involved the counting of polluting agents on the leaves of herbaceous plants gathered from the edges of roads headed towards Võru and Tartu. The accumulation of polluting agents was observed based on the surface of leaves of plants collected directly from the edge of the road – from 5 and 10 m from the road. In total, 22 species of plants were observed. One-way analysis of variance (ANOVA) was used to process data. Observational data indicated that there were more polluting agents on plants, which grew on the edges of roads with heavy traffic than on plants near the edges of roads with less traffic. The highest number of polluting agents was counted on plants that were gathered directly from the edge of the road; polluting agents on such plants were predominantly 16-30 µm in size. Based on leaf morphology, most species of plants with polluting agents belonged to the group of plants with sparsely hairy stiff leaves, but the best gatherers of polluting agents were plants with soft leaves with a smooth or densely hairy surface. In conclusion, traffic density and plant habitat distance from the edge of the road affects the amount of polluting agents on the surface of the herbaceous plants. The amount of polluting agents on the surface of the leaves, however, depends of the particular species and the morphology of the leaf. Based on the results, it could be suggested that vegetation should be as close as possible to the source of pollution, and that the edges of roads should remain green, especially in places with heavy traffic and human population, including areas separating roads and cycle and pedestrian tracks.</p>			
Keywords: air pollution, traffic density, foliage structure, phyllotaxis			

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	2
ABSTRACT	3
SISUKORD	4
SISSEJUHATUS.....	5
1. ÕHUSAASTE	7
1.1. Inimtegevusega kaasnev õhusaaste	7
1.2. Õhusaaste peened osakesed.....	8
2. TAIMED JA ÕHUSAASTE.....	10
2.1. Taimede roll õhusaate vähendamisele	10
2.2. Õhusaaste mõju taimestikule.....	11
2.3. Saasteainete mõju taimedes toimuvatele füsioloogilistele protsessidele.....	13
2.4. Saasteainete mõju taimede morfoloogiale.....	15
3. MATERJAL JA METOODIKA	17
3.1. Teede valik	17
3.2. Vaatlus	17
3.3. Andmetöötlus.....	21
4. TULEMUSED	22
4.1. Saasteosakete arv lehe pinnal lähtuvalt maantee kaugusest ja asukohast	22
4.2. Saasteosakeste arv lehe pinnal sõltuvalt liigist ja asukohast	23
4.3. Saasteosakeste arv lehe pinnal sõltuvalt lehe ehitusest	28
4.4. Saasteosakeste arv lehe pinnal sõltuvalt leheseisust	29
5. ARUTELU	32
KOKKUVÕTE.....	35
KASUTATUD KIRJANDUS.....	37
SUMMARY	41
LISAD	44
Lisa 1. Vaatluskoha fotod.....	45

SISSEJUHATUS

Eesti Statistikaameti andmete 2014. aasta seisuga käis autoga tööl 53% töötajatest. Arvestades, et peamiselt koonduvad töökohad linnadesse, on suurem autokasutus just linnades ja nende vahetus läheduses. Sealjuures annab autoliiklus kuni 80% süsihappegaasi (CO_2) ja 60% lämmastikoksiidide (NO) kogu transpordisektori heitkogusest (Karu, Liblik 2004). Lisaks CO_2 -le kaasneb liiklusega õhus lenduvate osakeste (PM) saaste, mis esinevad gaasi koostises nii väikeste tahkete kui vedelate osakestena. Suuruselt jagunevad saasteosakesed peenteks (PM_{10}) ja ülipeenteks ($\text{PM}_{2,5}$) ning oma tekke järgi saab neid jagada primaarseteks ja sekundaarseteks. Teekattelt, sõidukite piduriketastelt ja rehvidelt pärinevad osakesed kuuluvad primaarsete hulka. Kõik need osakesed mõjutavad aga inimese hingamissüsteemi ja eriti tundlikku kopsu kudet (Orru 2007).

Taimestikul on oluline roll tiheda liiklusega piirkondades õhu puhastajana, kuna nad omastavad autoliiklusega kaasnevat CO_2 -te ja talletavad lehtede pinnal õhus lenduvaid saasteosakesi (Weber *et al.* 2014). Rohttaimedel on võime enda pinnal kinni hoida suurt osa inimeste tervist mõjutavaid õhus lenduvaid saasteosakesi, mistõttu on teeäärse taimestiku bioloogilisel mitmekesisusel suur roll tervislike tingimuste loomisel tiheda inimasustusega piirkondades. Parema tulemuse saavutamiseks peab taimestik olema reostusele võimalikult lähedal, kuna ladestuva tolmu mass väheneb astmeliselt reostusallikast kaugenemisega (Litschke, Kuttler 2008).

Saasteosakeste ladestumisel on oluline roll taime lehe pinna suurenenud karedusel, mis tuleneb kolmemõõtmelisest lehe struktuurist (nt karvad, näärmel, vaod). Erinevad uurimused kinnitavad, et tiheda karvasusega lehed püüavad kinni oluliselt rohkem osakesi, kui siledapinnaliste lehtedega liigid (Yunus *et al.* 1985; Litschke, Kuttler 2008; Jamil *et al.* 2009; Mitchell *et al.* 2010).

Autorile teadaolevalt ei ole Eestis tehtud uurimistöid, kus oleks käsitletud saasteosakeste ladestumist rohtsetele taimedele maanteed ääres. Küll aga ilmus 2007. aastal uurimus välisõhu kvaliteedi mõjust inimese tervisele Tallinna linnas (Orru 2007). Kirjandusele

toetudes seati **töö hüpoteesiks** et, rohtsed madalad pinnakattetaimed, millel on karvane lehepind on paremad saasteosakeste kogujad kui sileda lehepinnaga taimed. Teiseks hüpoteesiks seati, et mida kaugemal kasvab taim tee servast, seda väiksem on ka lehe pinnal ladestuvate saasteosakeste hulk.

Töö eesmärk oli selgitada välja tiheda liiklusega maanteed ääres kasvavate rohtsete taimede saasteosakeste (PM) immobiliseerimisvõime.

Uurimuse käigus otsiti vastuseid järgmistele **uurimisküsimustele**:

- Kuivõrd liiklustihedus ja taime kasvukoha kaugus tee servast mõjutab saasteosakeste hulka rohtsete taimede lehtede pinnal?
- Kuivõrd saasteosakeste ladestumise hulk lehe pinnale sõltub liigist?
- Kuivõrd taime lehe morfoloogia mõjutab saasteosakeste ladestumise hulka lehe pinnale?

Uurimistööks valiti autori elukoha ja liikumisega seotud Võru linna suunduvate Tallinn-Tartu-Võru Luhamaa ja Võru-Põlva maanteed ning Tartu linna suunduvate Jõhvi-Tartu-Valga ja Tartu-Räpina-Värskä maanteed ääres kasvavad rohtsed taimed. Valiku tegemisel lähtuti sellest, et teed oleksid erineva liiklussagedusega, linnalähedased ja linnad erineva suurusega. Vaatluseks korjati taimi vahetult tee äärest, 5 m ja 10 m kaugusel tee äärest 1 m² suuruselt alalt.

Vaatluseks korjati valitud teede servadest rohttaimi, puittaimi töös ei käsitleta. Saasteosakesi lehe pinnal loendati valgusmikroskoobi all. Erinevaid taimeliike oli uurimuses 22, mõned liigid esinesid mitmes vaatluskohas. Taimeliigid kirjeldati ja klassifitseeriti lehetunnuste järgi. Lehe pinnal loendatud saasteosakesed jaotati suuruse järgi kuude klassi. Loendamise tulemused kanti excel tabelisse ja andmeid töödeldi ühefaktorilise dispersioonanalüüsiga (ANOVA).

Töö koosneb viiest peatükist ja 14. alapeatükist. Esimeses peatükis on kajastatud õhusaaste teema laiemalt, teises peatükis antakse ülevaade õhusaaste mõjust taimedele, kolmandas peatükis kirjeldatakse materjali ja metoodikat, neljandas tuuakse ära tulemused ning viiendas peatükis arutletakse olulisemate tulemuste üle.

Töö autori erilised tänusõnad ülima kannatlikkuse ja abivalmiduse eest kuuluvad juhendajale Ele Voolule.

1. ÕHUSAASTE

1.1. Inimtegevusega kaasnev õhusaaste

Õhk on inimese elus üks tähtsamaid komponente, kuna inimene suudab ilma toiduta vastu pidada mõne nädala, ilma veeta mõne päeva aga ilma õhuta vaevalt mõne minuti (Koorits, Nei 1998). Õhus leiduvate gaaside hulk ja keemiline koostis on optimaalne elavatele organismidele. Praegune atmosfääri koostis on kujunenud tema füüsikaliste ja keemiliste omaduste ning geokeemilise ja biokeemilise aineringe vastastikusest mõjutusest (Anttila *et al.* 1996). Inimene on aegade jooksul kujunenud tasakaalu tööstusliku ja põllumajandusliku tegevusega mõjutanud, tekitades õhusaastega kogu maakera puudutavaid häireid. Õhusaaste on oma olemuselt protsess, mis iseloomustab mitmekesist saasteainete atmosfääri, mis mõjuvad kahjustavalt nii inimestele, teistele elusorganismidele kui ka looduskeskkonnale (Kinney 2008; Kim *et al.* 2013). Õhk ja selle koostisesse paisatud toksilised keemilised ühendid on pidevas globaalses liikumises, mis tähendab, et õhusaaste ei tunne riigipiire ja on ülemaailmne fenomen (Karu, Liblik 2004).

Praeguse kiire elutempo ja pikkade vahemaade läbimiseks on oluline efektiivse transpordi olemasolu. Inimkonnal tuleb seetõttu maksta transpordihüvede eest kõrget lõivu, kuna transport mõjutab nii loodust kui ka tehiskeskkonda aga eelkõige inimese tervist. Autoliiklus annab kuni 80% süsihappegaasi (CO₂) ja 60% lämmastikoksiidide (NO) kogu transpordisektorist pärinevast heitkogusest. Lisaks tuleneb transpordist märgatav osa CO ja lenduvate orgaaniliste ühendite (LOÜ, ingliskeelne lühend VOC – *Volatile Organic Compounds*) heitkogusest. Transpordi kasutamise kaasnep CO₂ on üks põhilisi kasvuhooneefekti põhjustajaid, lämmastikoksiididel on oluline roll hapestumisprotsessides ja veekogude eutrofeerumisel (rikastumisel toitainetega) nii globaalses kui kohalikus mõistes. Veel avaldavad kõik transpordiliigid olulist survet veekeskkonnale ja maapinnale eeskätt avariide ja õnnetusjuhtumite korral, kust võib õhku sattuda suurtes kogustes metaani (kasvuhoonegaas) (Karu, Liblik 2004). Eurostat on Eesti puhul täheldanud, et 2013. aastal

oli Eestis 1000 elaniku kohta 478 sõiduauto ehk igal teisel elanikul oli auto. Eesti tööjõu-uuringu andmetel on tõusnud autoga tööle sõitjate osakaal, 2014. aasta seisuga käis autoga tööl 53% töötajatest (Eesti Statistikaamet 2015).

1.2. Õhusaaste peened osakesed

Õhus lendub saaste peente osakestena (PM), mis on kahjulikud inimeste tervisele (Karu, Liblik 2004). Need esinevad nii väikeste tahkete kui vedelate osakestena ja asuvad gaasi koostises. Suuruselt jagunevad peened osakesed peenteks (PM_{10}) ja ülipeenteks ($PM_{2,5}$). Vastavalt peenete osakesete tekkele saab need jagada primaarseteks ja sekundaarseteks. Primaarsed osakesed on teekatte, piduriketaste, rehvide jm osakesed ja ultrapeened osakesed, mis tekivad põlemisel. Levinum on vääveldioksiid (SO_2), mis tekib peamiselt kütuste põlemisel (Karu, Liblik 2004). Lämmastikühendid - lämmastikoksiid (NO) ja lämmastikdioksiid (NO_2), mida nimetatakse ka ühise nimetusega – NO_x (lämmastikoksiidide segu), tekivad kütuse põlemisel põlemisõhus ja kütuses sisalduva lämmastiku reageerimisel hapnikuga. Tekke tehnilikuks allikaks on põlemine küttekolletes ja sisepõlemismootorites (autoheitgaasid), suurt rolli mängib suurenev autotransport. Kütuste mittetäielikul põlemisel tekib süsinikoksiid (CO), mille heitkogused sõltuvad kasutatavast kütusest ja põlemise tingimustest. Peamised allikad keskkonda jõudmisel on suitsugaasid sisepõlemismootorist. Kütuste põlemiselt tekivad veel ka toksilised metallid nagu plii (Pb), kaadium (Cd) ja vask (Cu). Toksilisi metalle leidub lisaks veel ka pinnasetolmus, kuhu raskemetallid ladestuvad (plii, mida on kasutatud lisandine autokütustes), paisatakse liigutamisel uuesti välisõhku.

Sekundaarsed osakesed on ülipeened osakesed, mille läbimõõt on kõige rohkem $2,5\ \mu m$ ja need tekivad peamiselt kütuste põletamisel sh mootorsõidukid ja küttepuidu põletamine kodumajapidamises. Enamlevinud sekundaarsete osakeste koostises olevate ühendite NO_x ja LOÜ koostoimel tekib fotokeemilise sudu protsessis maapinnalähedane osoon (Koorits, Nei 1998). Tegemist on inimese poolt tekitatud antropogeense saastega, mille saasteallikad on koondunud piiratud maa-alale. Sekundaarsed saasteallikad jagunevad vastavalt:

- **paikne ehk statsionaarne** on püsiva asukohaga saasteaineid keskkonda suunav või eraldav objekt nagu näiteks elektrijaamad, katlamajad, tööstusettevõtted;
- **liikuv ehk mobiilne** – mootorsõidukid;
- **organiseeritud**, mis on pidevalt tegutsevad saasteallikad nagu näiteks asulad (ahjudes, kaminates, kateldes puidu ja teiste sarnaste kütuste põletamine);
- **organiseerimata**, mis on ühekordsed heited nagu näiteks avariid, tulekahjud;
- **lenduvad orgaanilised ühendid** on pärit paljudest allikatest. Rohkesti satub neid atmosfääri nafta töötlemisel ja naftasaaduste kasutamisel, kuna nafta on peaaegu puhas süsivesinike segu. Kõige suurem osa LOÜ inimtekkelisest heitekogusest tuleneb transpordist (mootorsõidukite heitgaasid).

2. TAIMED JA ÕHUSAASTE

2.1. Taimede roll õhusaaste vähendamisele

Taimestikul on tiheda inimasustusega piirkondades oluline roll, kuna nad talletavad CO₂, leevendavad kuumust, toimivad müratõkkena ning rikastavad bioloogilist mitmekesisust. Lisaks bioloogilise mitmekesisuse rikastamisele aitavad nad kaasa inimeste elukeskkonna parandamisele ja seda just läbi ohtliku õhureostuse vähendamise (Weber *et al.* 2014). Teadaolevalt õhukvaliteet halveneb niikaua, kui suureneb energiatarbimine ning õhusaaste vähendamisel võib siinjuures olla kasu taimestikust (Bealey *et al.* 2007). Tiheda liiklusega teede teeäärsed taimed toimivad kui ökoloogilised õhusaaste filtrid, eriti olukorras, kus kiire industrialiseerimine, linnastumine, rahvastiku kasv ja majanduskasvust tulenev õhusaaste häirib ökosüsteemide puhast keskkonda (Panda, Rai 2015; Rai 2015). Kuna rohttaimedel on võime kinni hoida enda pinnal suur osa inimeste tervist mõjutavaid õhus lenduvaid saasteosakesi, on teeäärse taimestiku bioloogilisel mitmekesisusel oluline roll tervislike tingimuste loomisel tiheda inimasustusega piirkondades. Parema tulemuse saavutamiseks peab taimestik olema reostusallikale võimalikult lähedal, kuna ladestuva tolmu mass väheneb astmeliselt reostusallikast kaugenemisega. Seega, kuna suur osa reostusest tuleneb autoliiklusest, peaks teeäärsel taimestikul olema arvestatav efekt õhureostuse vähendamisel ja taimestik peaks asuma liiklusele võimalikult lähedal (Litschke, Kuttler 2008).

Vos *et al.* (2013) püüdsid oma uuringus selgitada, kuidas taimestik saaks parandada tiheda liiklusega alal õhu kvaliteeti. Uuringu tulemusena täheldati, et näiteks hekid ja rohelised tõkked (puude alleed) on küll sarnased aga nende mõju õhukvaliteedi parendamisele on siiski erinev. Kui rohelised läbitungimatud tõkked on tõhusad kaitsmaks jalgteid (kergliiklusteid) suurendades kontsentratsiooni sõiduteel, siis õhulised/läbitavad hekid võimaldavad saasteainetel jõuda kergliiklusteele. Hekkide ja roheliste tõkete toime on niikaua ebaoluline, kuni nad on madalad (alla 1 m kõrged). Kõrguse suurenedes täheldati, et tänu rohelisele barjäärile jõuab jalgteele madalam saasteainete kontsentratsioon (tänu

paremale varjele), samal ajal kõrgema heki puhul suureneb saasteainete kontsentratsioon ventilatsiooni vähenemise tõttu.

2.2. Õhusaaste mõju taimestikule

Taimestik puutub pidevalt kokku erinevat tüüpi õhusaastega, mis võib põhjustada kroonilist kahju nii taime anatoomiliste, morfoloogiliste kui ka füsioloogilistele tunnustele. Reostuse tulemusena leiavad saateallikatele lähedal paiknevates taimedes aset erinevad reaktsioonid ja muutused fotosünteesis, hapniku tarbimises, raku membraanides ja vananemise protsessis (Shweta 2012; Panda, Rai 2015). Reostunud keskkonnale viitavad okaste/lehtede vigastused koos oluliste muutustega taime kasvu ja arengu protsessis ning seetõttu peaks teeäärseid taimi võtma kui olulist osa õhukvaliteedi hindamisel (Panda, Rai 2015). Kõige tundlikumad õhusaastele on taimede lehed (Kardel *et al.* 2013).

Suure hulga taimedel esinevate reostusnähtuste tekkepõhjuseks on diisli ja bensiiniga töötavad masinad. Diisli heitgaasid mõjutavad nii taime kasvu ja arengut, kui ka kutsuvad esile siledapinnaliste lehtede kattumist vahaga ja vananemist (Honour *et al.* 2009). Masinate tehnoloogia ja töötingimused on need, millest sõltuvad reostuse kontsentratsioon ja proportsioonid. Kõige olulisemad fütotoksilised reostajad, mis kaasnevad teel liikuva transpordiga, on NO ja NO₂. Siiski võib leiduda heitgaaside hulgas ka jääke teistest ainetest nagu HNO₂ (lämmastikushape, mis esineb vaid vesilahuses), N₂O ja NH₃ ning põlemise käigus eralduvate mittepõlenud kütuseosakestest süsinikained ja teised saasteosakesed, sh SO₂ ja LOÜ-d (Colvile *et al.* 2001).

Ackerly ja Bazzaz (1995) uuringu kohaselt võib kõrge saasteainete sisaldus heitgaasides taimi kahjustada, kuid samas on siiski selle väite kinnituseks vähe informatsiooni. Gratani *et al.* (2000) on oma töös leidnud seoseid liiklustiheduse, fotosünteesi, klorofüllis sisalduse ja lehtede vananemise vahel. Tahkete reostusosakeste ladestumine lehepinna peale toob esile funktsionaalseid ja struktuurseid muutusi, mis ilmnevad taimestikus erineval määral.

SO₂ tungib taimedesse läbi lehtedes või okastes olevate õhulõhede (Karu, Liblik 2004). Nende kaudu toimib harilikult õhuvahetus, mõjudes esmalt nende avauste suurust

reguleerivatele rakkudele. Selle tulemusena jäävad õhulõhed avatuks ja lihtsustub saasteainete sissetung leherakkudesse. Rakku sattudes mõjub SO₂ kloroplastile ja rakumembraanidele. Esmased mõjud ilmnevadki lehe kloroplastis, kus normaalses olukorras toimub fotosüntees: raku kloroplast sõmerdub, paisub ja liitub naabermembraanidega. Lõpuks kloroplast degradeerub täielikult ja fotosüntees peatub. Seejärel muutub SO₂ lehe sisemuses disulfiidiks, sulfiidiks või sulfaadiks või jääb sinna lahustunud kujul. Kõik need ained takistavad fotosünteesiprotsessi. Edasi lõhub vääveldioksiid ensüümide aatomite ja aatomirühmade vastastikust asetust molekulis ja mõjutab niiviisi paljusid raku biokeemilisi protsesse, sealjuures mõju suurus oleneb SO₂ kontsentratsioonist õhus ja toimeajast. Lehtede ja okaste kahjustumise käigus rakud muunduvad, lehekude närbub, lehtede ja okaste värvus muutub pruuniks ja nad langevad enneaegselt maha. Tundlikumad taimeliigid saasteainetele on lutsern, oder, puuvill, ebatsuuga, mänd, sojauba, nisu.

Lämmastikoksiid (NO) ja –dioksiid (NO₂) kutsub enamikul õhusaastele tundlikel taimedel esile kroonilisi füsioloogilisi kahjustusi. NO₂ pidurdab taimede kasvu isegi madalate kontsentratsioonide juures (Karu, Liblik 2004). Suurema saaste korral tekivad tundlikel taimeliikidel ka nähtavad lehekahjustused. Paljud gaasilised saasteained toimivad pärssivalt igasugustele taimedele, põhjustades nende degradeerumist ja isegi hukkumist. Kõik need saasteained põhjustavad taimedes fotosünteesis keemilisi protsesse, mis takistavad hingamist ja energia tootmist. Gaasilistele saasteainetele (väljaarvatud osoon), sealhulgas ka SO₂ ja NO₂, on tundlikud madalamad taimed nagu samblad ja samblikud ning lisaks kõrgemate taimede lehed.

Happelised ühendid (SO₂, NO_x, H, NH₄, NO₃, SO₂) võivad maapinnale sattuda koos vihma, udu või lumega (märgsadenemine) aga ka kuivsadene misel, st gaasilisel kujul või aerosoolidena (sooladena) (Karu, Liblik 2004). Happelise depositsiooni mõju loodusele sõltub suurel määral pinnase omadustest. Hapestumine mõjutab metsaökosüsteeme ja seda kaudselt läbi mullastikutingimuste halvenemise. Halvenemine seisneb selles, et happelisest mullast uhutakse välja taimedele vajalikud toitained (Ca, Mg, K, Na, Mn jt) ning liikvele pääsevad taimedele ja mullaorganismidele mürgised metallid (Al, Hg). Kõigi tegurite tulemusel taimede kasv aeglustub, lehed kolletuvad enneaegselt või kukuvad üldse küljest ja muutuvad kaitsetumaks teiste kahjulike keskkonnafaktorite suhtes (putukate rünnakud, haigused, troposfääri osoon, põud või väga külm talv). Eriti tundlikud on hapestumise suhtes okaspuud.

Kõik LOÜ-d soodustavad suuremal või vähemal määral maapinnalähedase osooni episoodilist teket (Karu, Liblik 2004). Maapinnalähedane osoon põhjustab taimedel lehekahjustusi ja kasvu aeglustumist, lisaks väheneb põllukultuuride saagikus. Osoonisaastatuse tõttu võib väheneda bioloogiline mitmekesisus, kuna liigid on erineva tundlikkusega. Osoon siseneb taimedesse õhulõhede kaudu. Lehes toimuvate reaktsioonide tagajärjel saavad vigastada lehtede rakuseinad ja membraanid, mis kutsub eile häireid taimede normaalses ainevahetuses ja suurenenud veekaotust. Suurte kahjustuste korral rakud hukuvad ja lehe pinnale ilmuvad klorootilised ning nekrootilised laigud. Taimedel on ka füsioloogilised kaitsemehhanismid, mis suudavad teatud koguseni osooni kahjutuks muuta. Kui osooni kontsentratsioon ületab selle taseme, muutub osoon taimedele ohtlikuks.

Ladestunud metallide kontsentratsioon taimelehtedel erineb liigiti vastavalt tolmu või tahkete osakeste ladestumisele (Panda, Rai 2015). Tänu bioakumuleeruvatele omadustele käituvad kõrgemat kasvu taimed õhus raskemetallide jälgijana (Rai 2009, 2012). Kõrgemat kasvu taimed ei omasta metalle mitte ainult õhust vaid ka maapinnast, kuna õhus edasi kanduvad raskemetallid imenduvad taimedesse läbi juurestiku ning tänu aktiivsetele mehhanismidele paigutuvad ümber taime teistesse osadesse (Verma, Singh 2006). Positiivset korrelatsiooni on täheldatud ka metallide kogunemise ja lehel ladestumise vahel ning sellest lähtuvalt võib öelda, et taimed, mis kasvavad tee ääres võivad käituda ka õhus levivate metallide atmosfäärist eemaldajatena (Verma, Singh 2006; Rai 2008; Panda, Rai 2015).

2.3. Saasteainete mõju taimedes toimuvatele füsioloogilistele protsessidele

Saasteainete mõju taimele on liigispetsiifiline ja osakeste lehepinna kogunemine sõltub lehepinna omadustest (Chauhan 2010). Saasteainete kogunemine lehele vähendab taimekasvu, alandab lehe fotosünteesi aktiivsust ja klorofüllisisaldust (Sharifi *et al.* 1997).

Reostuse mõju taimede fenoloogiale avaldub peamiselt erinevate taimeliikide lehtede enneaegse vananemisena (Honour *et al.* 2009). Samas on oluline arvestada, et lehtede

vananemist võivad mõjutada heitgaasides leiduvad komponendid nagu näiteks LOÜ ja etüleen, millest viimane on ka taime hormoon ning võib oma omaduse poolest suurendada taime enneaegset vananemist (Collins, Bell 2002).

Negatiivset korrelatsiooni on täheldatud tolmu ladestumise ja taime suhkru kogusisalduse vahel (Tripathi, Gautam 2007; Panda, Rai 2015). Reostajad nagu näiteks SO₂, NO₂ ja H₂ võivad stressitingimustes põhjustada lahustuvate suhkrute ammendumist taimelehtedel ning sulfiidide reageerimine aldehydide ja süsivesikute ketoonidega võib põhjustada süsivesikute hulga vähenemist (Tripathi, Gautam 2007). Kaitsmaks taimi oksüdatsiivsete stressiallikate vastu on taimerakkudes mitmeid antioksidatiivseid ensüüme ja molekulaarseid antioksidante nagu askorbiinhapped, flavonoidid ja karotenoidid (Ghorbanli *et al.* 2007). Varshney ja Vashney (1985) on täheldanud peroksidaasi suurenemist taimedes, mis on erinevat tüüpi stressi all nagu näiteks mehaaniline vigastus, patogeenne rünnak või keskkonna reostus. Peroksidaasi ja katalaasi suurenemine sõltub taimeliigist ja reostuse kontsentratsioonist ning elektronide ülekande taimerakkudes saab toimuda läbi kloroplasti või mitokondriaalse elektronide ülekande süsteemi. Elektronid võivad luua kokkupuutel hapnikumolekulidega reageerivaid hapniku liike (ROS) (Panda, Rai 2015). ROS-id on äärmiselt reaktiivsed ja tsütotoksilised kõikidele organismidele ning põhjustavad rakuliste koostisosade peroksiidse hävinemise. Õhureostus suurendab ROS-i moodustumist taimerakkudes, mille tulemusena tekib oksüdatiivne stress (Rai 2015).

Rai ja Panda (2015) ning Tripathi ja Gautam (2007) toetavad oma uuringus väidet, et proteiinisalduse vähenemine taimedes võib tuleneda proteiini suurenenud denaturatsioonist ja olemasolevate proteiinide lagunemisest aminohapeteks. Veel on Agarwal ja Deepak (2003) teinud kindlaks, et õhu SO₂ rikastumise tulemusena vähenes lehe proteiinitase kahes nisu sordis 13% võrra ja languse põhjustas olemasolevate proteiinide lagunemine ja proteiini sünteesimise vähenemine.

Isotermiline remanents (SIRM, lehe magnetilised omadused) on märgitud, kui hea indikaator teeäärse liikluse mõju mõõtmiseks (Kardel *et al.* 2011) ja seda eriti PM mõõtmiste osas (Maher *et al.* 2008; Mitchell *et al.* 2010). Mitchell ja Maher (2009) on oma uuringus näidanud tugevat korrelatsiooni õhu PM sisalduse ja SIRM-i vahel. Liiklusele lisaks võivad anatoomilisi, morfoloogilisi ja füsioloogilisi lehe karakteristikuid mõjutada erinevad osakesed ja gaasiline reostus. Pidevale õhu saastatusele viitab suhteliselt madal klorofüllisisaldus (Saarinen, Liski 1993).

2.4. Saasteainete mõju taimede morfoloogiale

Õhureostus toob kaasa olulisi muutusi lehtede/okaste morfoloogias ja seda täheldati variatsioonidena peaaegu kõikide liikide bioloogilistes parameetrites (Rai 2015). Uurides mikromorfoloogilisi parameetreid täheldati märkimisväärselt rakkude poorsete omaduste vähenemist kõikide liikide puhul ning leiti, et pooride suuruse ja arvu vähenemise võib panna tugevalt saastatud õhu arvele, mis koosnes peamiselt hõljuvatest tahketest osakestest ja gaasilistest reostajatest.

Lehe pinda katva vaha osas on leitud seoseid lehe pinna omaduste ja reostusega kokkupuute vahel (Cape, Percy 1993). Muutused lehe pinda katvas vahas võivad tuleneda erinevatest looduslikest või antropogeensetest teguritest. Näiteks võivad lämmastikoksiidid otseselt reageerida kutiikulaga, kuid seda alles pärast pikaajalist kokkupuudet suure lämmastiku kontsentratsiooniga. NO_x võib katkestada metaboolseid protsesse ja seetõttu mõjutada kaudselt lehe pinda katva vaha teket ja struktuuri (Cape 1994). LOÜ-d on väga lipiidsed ja võivad kuhjuda lehe vahasse, muutes nii lehe füüsikalisi omadusi ja struktuuri (Riederer *et al.* 1994). Eraldi uuringuid, mis näitavad vaid suurenenud mõju veekaotuse avaldumisega on väga vähe aga samas on leitud, et heitgaaside kokkupuute järgselt lehevaha degradeerib ja see on pandud orgaaniliste süsivesinike ning NO_x-de arvele (Farmer 1993).

Õhu saasteosakeste ladestumine lehepinnale vastab koha spetsiifilisele liiklustihedusele ja erineb vastavalt sellele, mis liiki saasteosakeste ja taimeliikidega on tegemist (Weber *et al.* 2014). Taimestik eemaldab saasteaineid atmosfäärist tõhusamalt kui tehispinnad ning eriti oluliseks bioloogiliseks filtriks peetakse puid just nende suure lehtede pindala ja füüsiliste omaduste tõttu.

Erinevates uuringutes (Yunus *et al.* 1985; Litschke, Kuttler 2008; Jamil *et al.* 2009; Mitchell *et al.* 2010) on leitud, et lehe pinna suurenenud karedusel, mis tuleneb kolmemõõtmelisest lehe struktuurist (nt karvad, näärmed, vaod) on oluline roll osakeste ladestumisel. Üldiselt võib järeldada, et tiheda karvasusega lehed püüavad kinni oluliselt rohkem osakesi, kui siledalehelised liigid, kus lehtede karvakesed asuvad hajusalt või üldse puuduvad. Samuti võib öelda, et mehhanismid, mis viitavad puistu liikide lehtede õhusakeste ladestamise efektiivsusele kehtivad samaväärselt rohhtaimele puhul. Lisaks on leitud, et lehe pinnale ladestunud õhu saasteosakeste hulk sõltus ka taimlehtede kõrgusest, sealjuures kõrgekasvulised taimed, mille lehed olid mööda tüve ühtlaselt jaotunud, koguvad rohkem

reostust, kui madalakasvulised taimed (Honour *et al.* 2009). Seega aitab õhureostuse laadestumisele kaasa struktuurselt mitmekesine teeäärne vegetatsioon, millel on külluslik ja erinevatel kõrgustel asuv lehestik.

3. MATERJAL JA METOODIKA

3.1. Teede valik

Uurimistööks valiti Võru linna suunduvate Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa ja Võru-Põlva maantee ning Tartu linna suunduvate Jõhvi-Tartu-Valga ja Tartu-Räpina-Värska maantee ääres kasvad rohtsed taimed (lisa 1). Valiku tegemisel lähtuti sellest, et teed oleksid erineva liiklussagedusega, kuid linnalähedased ja linnad oleksid erineva suurusega. Riikliku teeregistri andmete kohaselt on Tallin-Tartu-Võru-Luhamaa ja Jõhvi-Tartu Valga maantee puhul tegemist põhimaanteedega ning Tartu-Räpina-Värska ja Võru-Põlva on tugimaanteed. Antud valiku puhul sai otsustavaks ka uurimuse läbiviija elukoht ja seotus piirkonnaga. Orienteeruv ülevaade liiklussageduse kohta nimetatud teelõikudel võeti Maanteeameti poolt 2016. avaldatud 2015. a loendusaruandest (Maanteeamet 2016). Loendusandmete alusel toimusid liiklussageduse vaatlused Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa mnt lõigul 73758 (246881 – 250192 m) 3311 m ulatuses, Võru-Põlva mnt lõigul 74154 (715 – 1542 m) 827 m ulatuses, Jõhvi-Tartu-Valga mnt lõigul 73784 (137675 – 143619 m) 5944 m ulatuses ning Tartu-Räpina-Värska mnt lõigul 74758 (3264 – 4656 m) 1392 m ulatuses. Saadud loendusandmete kohaselt jagunes aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus vastavalt Jõhvi-Tartu-Valga maanteel 10182, Tartu-Räpina-Värska maanteel 7271, Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maanteel 5288 ja Võru-Põlva maanteel 3858 autot. Numbritest võib järeldada, et antud valikute puhul olid suurema liiklussagedusega teed Tartu linna ümbruses. Aasta keskmise ööpäevase liiklussageduse arvutamisel on võetud mõlemad sõidusuunad kokku. Maanteeameti üldise praktika kohaselt selgub täpsem ühe sõidusuuna liiklussagedus ööpäevas, kui jagada üldine ööpäeva keskmine pooleks.

3.2. Vaatlus

Saasteosakeste ladestumise vaatlemiseks koguti taimmaterjali vahetult tee äärest, 5 m ja 10 m kaugusel tee äärest 1 m² suuruselt alalt. Vaadeldud kohtades kõige enim levinum liik, mis kasvas kõikides kohtades ja kaugustel oli põldtimut (tabel 1). Taimerühmade osakaal oli 2%

kõrrelisi ja 98% laialehelisi liike. Arvuliselt korjati vaatluskohtadest taimeliike vastavalt Tallinn-Luhamaa mnt 7 liiki, Võru-Põlva mnt 10 liiki, Tartu-Valga mnt 11 liiki ja Tartu-Värskas mnt 9 liiki.

Tabel 1. Rohtsete taimede liigiline kooslus Võru ja Tartu linna suunduvate maanteed ääres

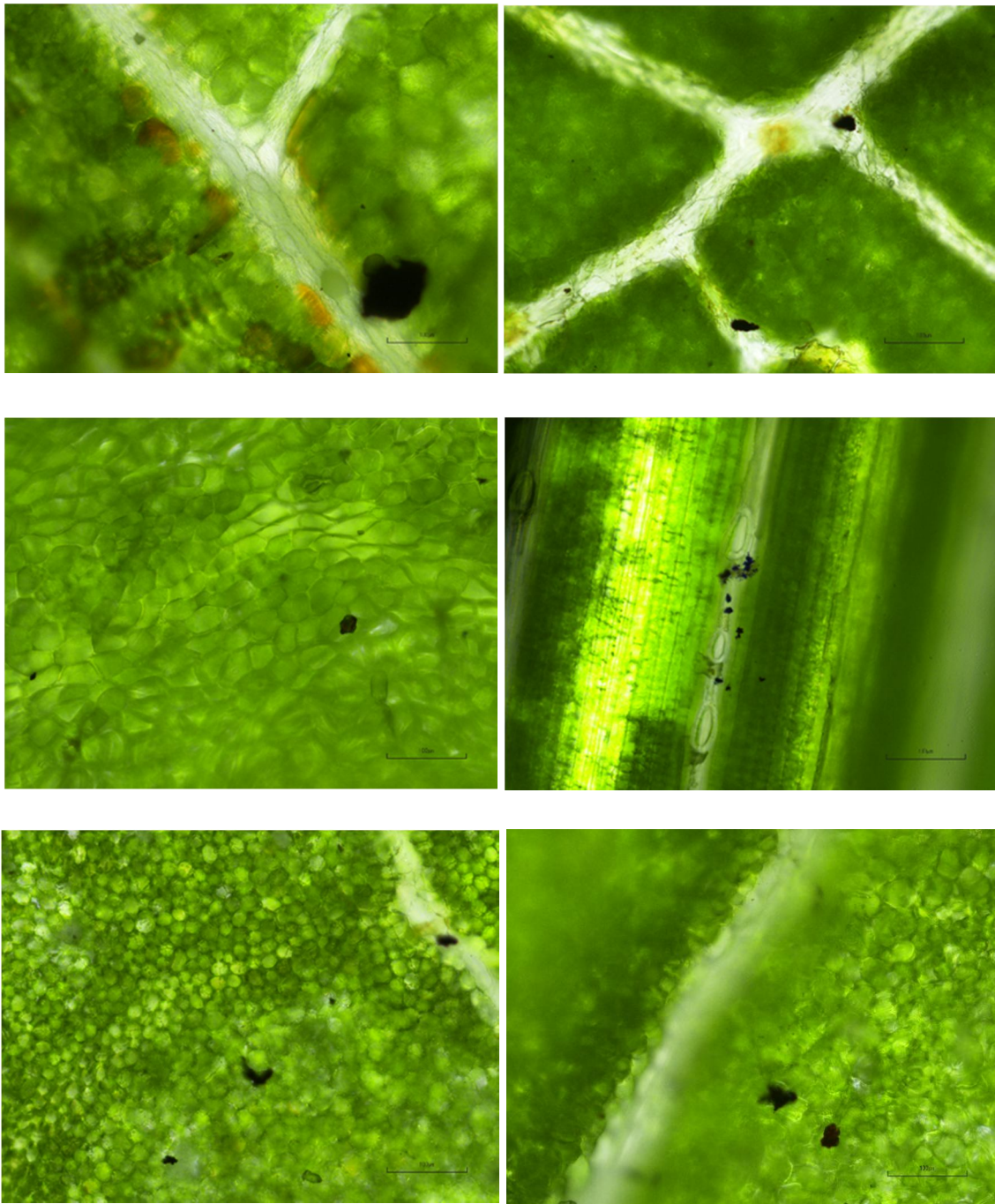
Maantee asukoht		Taimeliigid maantee vahetus ääres	Taimeliigid 5 m kaugus maanteest	Taimeliigid 10 m kaugus maanteest
Võrru suunduvad maanteed	Põlva-Tartu	h. võilill (<i>Taraxacum officinale</i>), sügisene seanupp (<i>Leontodon autumnalis</i>), valge hanemalts (<i>Chenopodium album</i>)	arujumikas (<i>Centaurea jacea</i>), villohakas (<i>Cirsium heterophyllum</i>), põldtimut (<i>Phleum pratense</i>)	paiseleht (<i>Tussilago farfara</i>), keskmine ristik (<i>Trifolium meedium</i>), h. naat (<i>Aegopodium podagraria</i>), mõru kirburohi (<i>Polygonum hydropiper</i>), põldtimut (<i>Phleum pratense</i>)
	Luhamaa-Võru	põldtimut (<i>Phleum pratense</i>), h. naat (<i>Aegopodium podagraria</i>), aas kurereha (<i>Geranium pratense</i>), arujumikas (<i>Centaurea jacea</i>), h. hiirehernes (<i>Vicia cracca</i>)	põldtimut (<i>Phleum pratense</i>), h. naat (<i>Aegopodium podagraria</i>), aas kurereha (<i>Geranium pratense</i>), h. hiirehernes (<i>Vicia cracca</i>), liivkoeratubakas (<i>Crepis tectorum</i>)	põldtimut (<i>Phleum pratense</i>), h. naat (<i>Aegopodium podagraria</i>), aas kurereha (<i>Geranium pratense</i>), liivkoeratubakas (<i>Crepis tectorum</i>)
Tartusse suunduvad maanteed	Jõhvi-Tartu-Valga	h. võilill (<i>Taraxacum officinale</i>), ohakas (<i>Cirsium</i>), h. naat (<i>Aegopodium podagraria</i>), h. orashein (<i>Elymus repens</i>)	hulgilehine lupiin (<i>Lupinus polyphyllus</i>), kõrvenõges (<i>Urtica dioica</i>), külmamailane (<i>Veronica chamaedrys</i>), aas-seahernes (<i>Lathyrus pratensis</i>), h. kellukas (<i>Campanula patula</i>), põldtimut (<i>Phleum pratense</i>)	h. naat (<i>Aegopodium podagraria</i>), aas-seahernes (<i>Lathyrus pratensis</i>), põldtimut (<i>Phleum pratense</i>), ahtalehine põdrakanep (<i>Epilobium angustifolium</i>)
	Tartu-Räpina-Värskas	paiseleht (<i>Tussilago farfara</i>), arujumikas (<i>Centaurea jacea</i>), valge hanemalts (<i>Chenopodium album</i>)	h. hiirehernes (<i>Vicia cracca</i>), põldtimut (<i>Phleum pratense</i>), madar (<i>Galium aparine</i>), aas-kurereha (<i>Geranium pratense</i>)	põldtimut (<i>Phleum pratense</i>), sarik-hunditubakas (<i>Hieracium umbellatum</i>), kõrvenõges (<i>Urtica dioica</i>)

Taimed korjati kahes jaos arvestades põhimõtet, et enne taimede korjamist oleks olnud vähemalt kolm päeval sademeteta ilm ja saasteosakesed lehtede pinnal saaksid ka kohe laboris loendatud. Eesti meteoroloogia aastaraamatu andmetel oli 2016. aasta suvi sademeterohke, suve keskmine sademetesumma oli 318 mm, paljude aastate keskmine aga 224 mm (Eesti meteoroloogia ... 2016). Veel arvestati, et taimed oleksid matuurses faasis ehk lehed olid korralikult välja arenenud.

Võru maakonda jäävate teede servadest korjati taimed 26. juunil ja vaadeldi Eesti Maaülikooli taimekaitse laboris 27. juunil 2016. aastal. Tartu maakonda jäävate teede servadest korjati taimed 14. juulil ja vaadeldi 15. juulil 2016. Kolm nädalat kahe vaatluse vahel oli tingitud asjaolust, et ilm ei võimaldanud taimi korjata nii, et eelnenud oleks vähemalt kolm vihmavaba päeva. Veel tuli arvestada, et lehed saaksid mikroskoobi all vaadeldud kohe peale korjamist ning vaatluse teostamine nõudis ülimat tähelepanelikkust ja oli ajakulukas. Taimed korjati mõlema laboripäeva eelsel päeval ja hoiti enne laborisse toimetamist suletud pakendites jahedas ruumis.

Vaatluse alla võetud taimeliigid kirjeldati ja klassifitseeriti lehetunnuse järgi (tihedalt karvased pehmed, tihedalt karvased jäigad, hajusalt karvased pehmed, hajusalt karvased jäigad, paljad pehmed ja paljad jäigad) (tabel 2). Protsentuaalselt jagunesid taimeliigid lehetunnuste järgi tihedalt karvased pehmed lehed ja hajusalt karvased jäigad lehed 22,7%, hajusalt karvased pehmed lehed ja paljad pehmed lehed 18,2% ning tihedalt karvased jäigad lehed ja paljad jäigad lehed 9,1%.

Valgusmikroskoobi (Nikon H550L, Jaapan) all loendati suurenduse 1:200 all saasteosaksete arv lehepinnal $0,5 \times 0,5$ cm (25 mm^2) suurusel alal (joonis 1).



Joonis 1. Saasteosakesed valgusmikroskoobi all vaadatuna

Tabel 2. Taimeliikide klassifitseerimine lehetunnuste järgi (Krall *et al.* 2007; <http://bio.edu.ee>)

Tihedalt karvased pehmed	Tihedalt karvased jäigad lehed	Hajusalt karvased pehmed lehed	Hajusalt karvased jäigad lehed	Paljad pehmed lehed	Paljad jäigad lehed
aas-kurereha	liiv-koeratubakas	h. võilill	h. orashein	aas-seahernes	põldtimut
kõrvenõges	ohakas	h. hiirehernes	sügisene seanupp	h. naat	villohakas
paiseleht		keskmise ristik	arujumikas	h. kellukas	
hulgalehine lupiin		mõru kirburohi	ahtalehine põdrakanep	valge hanemalts	
külmamailane			sarik-hunditubakas		

Saasteosakesed on suuruse järgi töös jaotatud kuude klassi: 3-10 µm, 11-15 µm, 16-30 µm, 31-60 µm, 61-120 µm ja 121-180 µm.

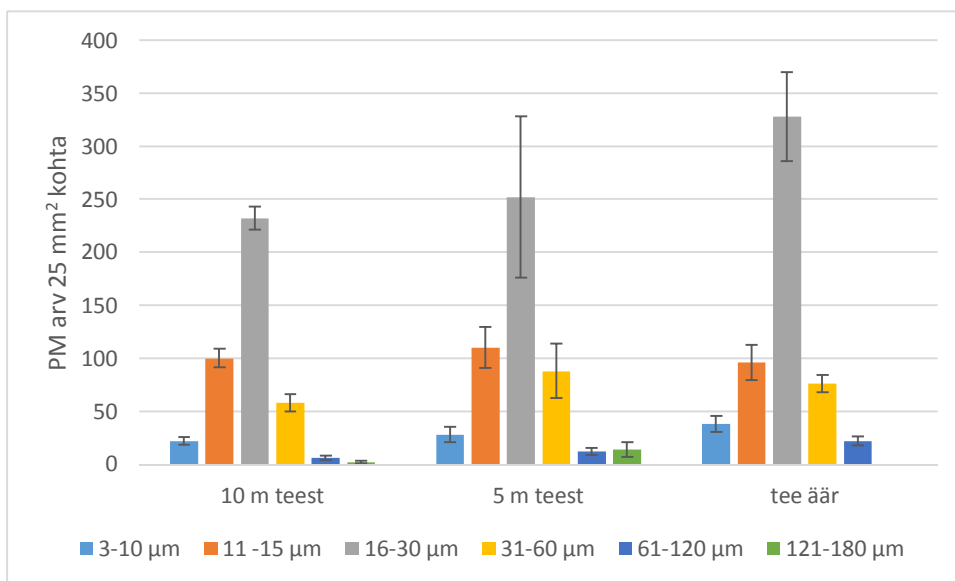
3.3. Andmetöötlus

Andmete töötlemiseks kasutati ühefaktorilist dispersioonanalüüsi (ANOVA). Variantide vahelise erinevuse hindamiseks leiti piirdiferents 95% usutavuse juures (PD95%). Sarnaste tähtede vahel erinevus puudus. Saasteosakeste keskmise arvukuse hindamiseks taimeliikide lehtedel ja kaugusel maanteest arvutati standarthälve.

4. TULEMUSED

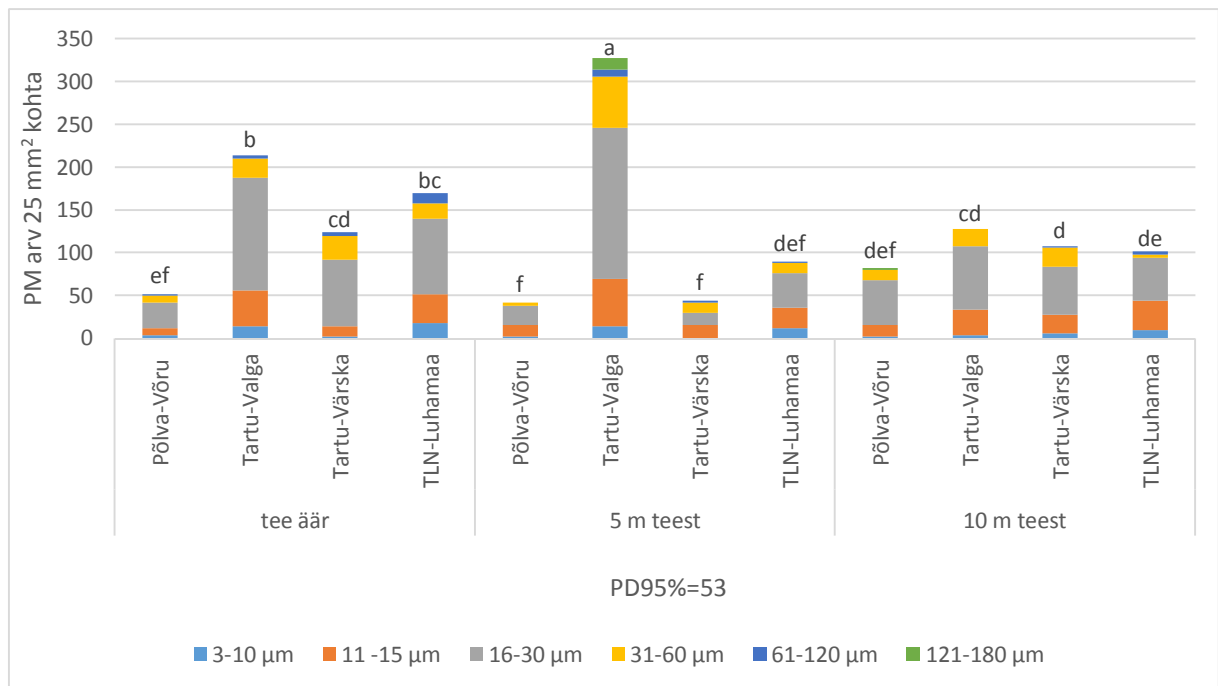
4.1. Saasteosakete arv lehe pinnal lähtuvalt maantee kaugusest ja asukohast

Vaatlustulemuste põhjal loendati vahetult tee ääres kõige rohkem saasteosakesi suuruses 16-30 μm (joonis 2). Järgnesid osakesed suuruses 11-15 μm ja 31-60 μm ning kõige vähem esines osakesi suuruses 61-120 μm . Maanteest 5 m kauguselt loendati samuti kõige rohkem osakesi suuruses 16-30 μm , järgnesid 11-15 μm ja 31-60 μm ning kõige vähem loendati 61-120 μm ja 121-180 μm suuruseid osakesi. Ka maanteest 10 m kaugusel esines kõige enam osakesi suuruses 16-30 μm ja kõige vähem 121-180 μm . Kokkuvõtteks võib öelda, et kõigis kolmes vaatluskohas esines kõige enam saasteosakesi küll suuruses 16-30 μm , kuid statistiliselt oluline erinevus oli vaid maantee äärest ja 10 m kauguselt loendatud osakeste arvude vahel.



Joonis 2. Saasteosakeste arv lehe pinnal sõltuvalt nende suuruselt ja kaugusest maanteest

Maanteede lõikes vaadatuna oli suurim saasteosakeste arv Tartu linna lähedal vaadeldud Tartu-Valga maanteel ja seda nii vahetult tee äärest kui ka 5 m kauguselt korjatud taimedel (joonis 3). Laiemalt vaadatuna jagunesid saasteosakesed suhteliselt ühtlaselt kõigis ülejäänud kolmes vaatluskohas. Saasteosakeste suurusest lähtuvalt eristusid selgelt kõigis vaatluspunktidest saasteosakesed vahemikus 16-30 μm v.a Tartu-Värska mnt 5 m kaugus teest.



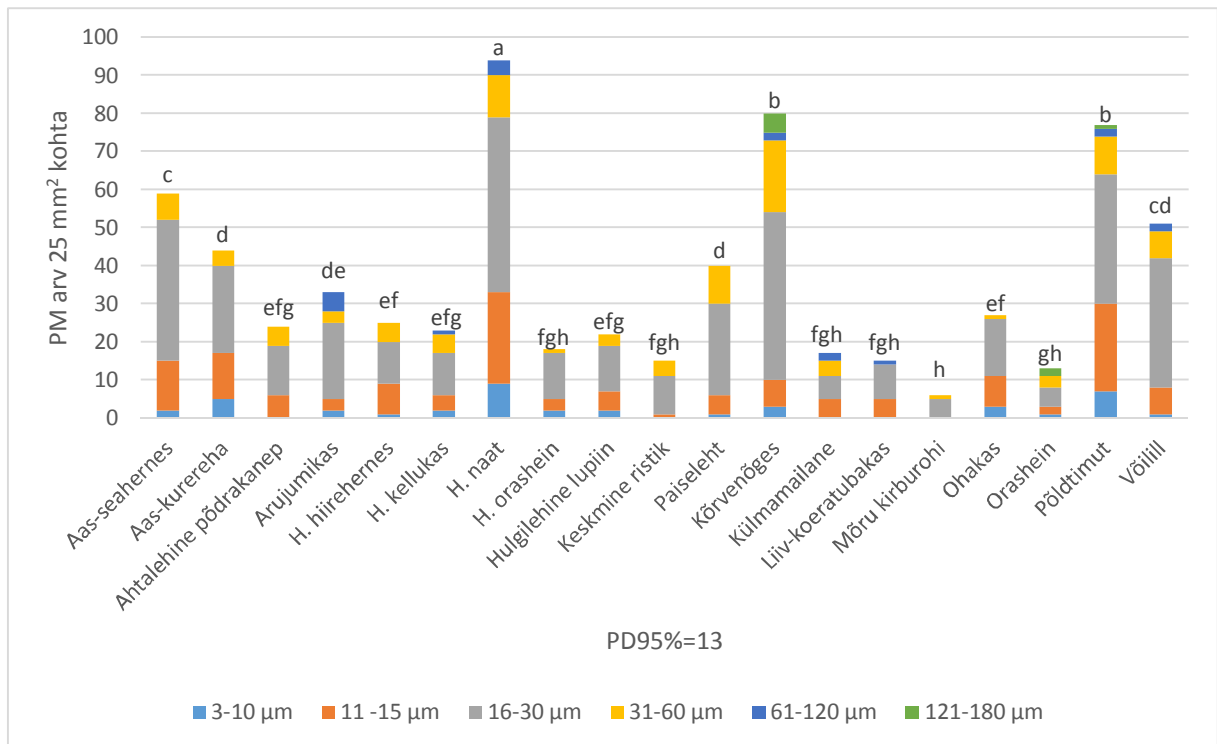
Joonis 3. Saasteosakeste arv lehe pinnal sõltuvalt asukohast ja kaugusest maanteest.

Erinevad tähed näitavad statistiliselt usaldusväärset erinevust ($P < 0,05$) tulpade vahel

4.2. Saasteosakeste arv lehe pinnal sõltuvalt liigist ja asukohast

Kõige rohkem lades taimeliikidest saasteosakesi hariliku naadi, kõrvenõgese ja põldtimuti lehtedele (joonis 4). Kõige vähem lades saasteosakesi mõru kirburohu ja orasheina lehtedele. Kui 16-30 μm suuruses saasteosakesed olid kõikidel liikidel esindatud ja ülekaalus, siis ülejäänud suurusjärgud olid liigiti väga ebaühtlaselt jaotunud. Kõik kuus suurusjärku olid esindatud kõrvenõgese lehel. Viis suurusjärku esines arujumikal, h. kellukal, h. naadil, orasheinal ja põldtimutil. Ainult mõned suurusjärgud olid esindatud mõru kirburohul (2

erinevat suurusjärku), liiv-koeratubakal (3), keskmisel ristikul (3) ja ahtalehisel põdrakanepil (3).

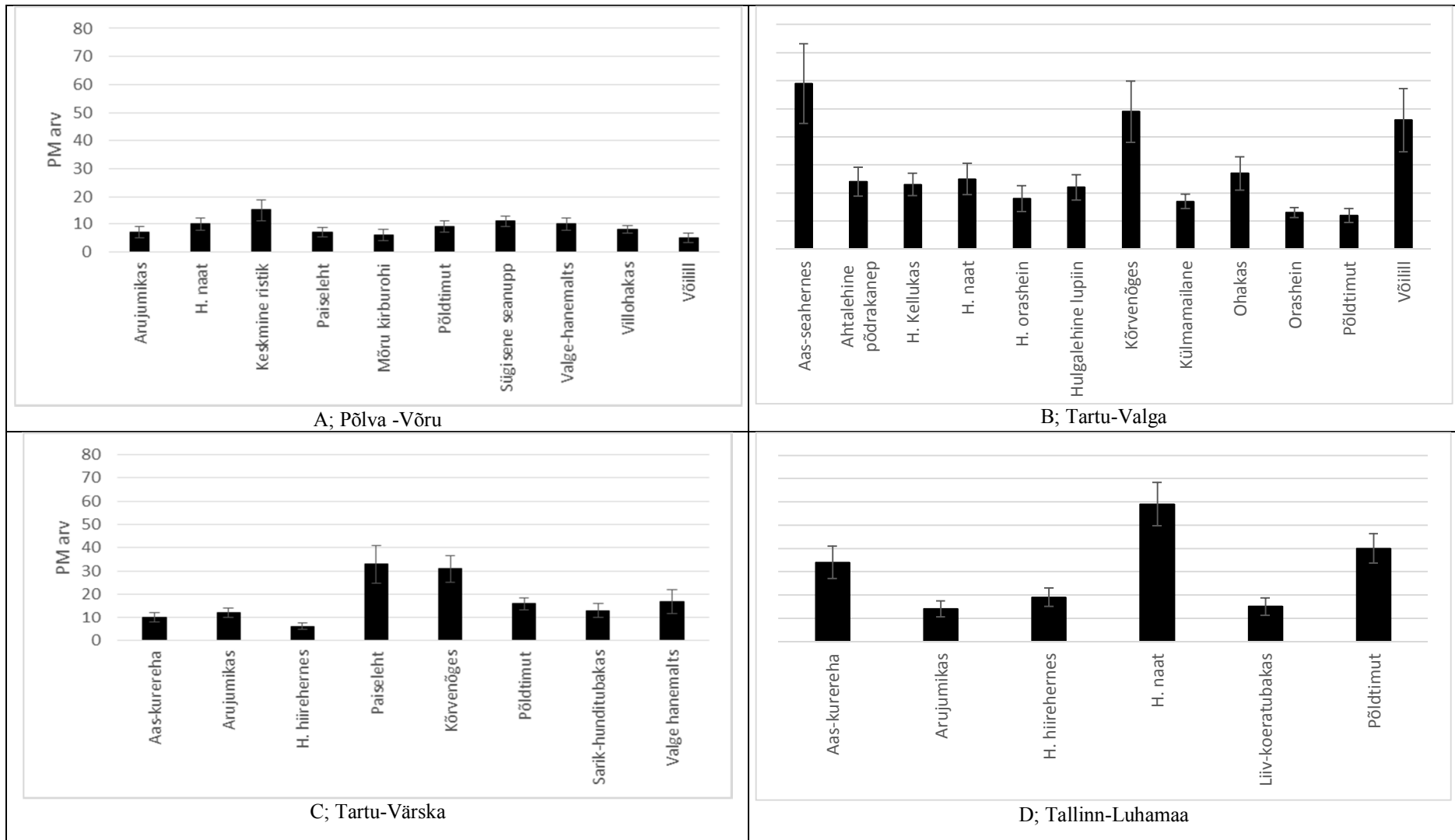


Joonis 4. Erineva suurusega saasteosakeste arv lehe pinnal olenevalt taimeliigist. Erinevad tähed näitavad statistiliselt usaldusväärset erinevust ($P < 0,05$) tulpade vahel

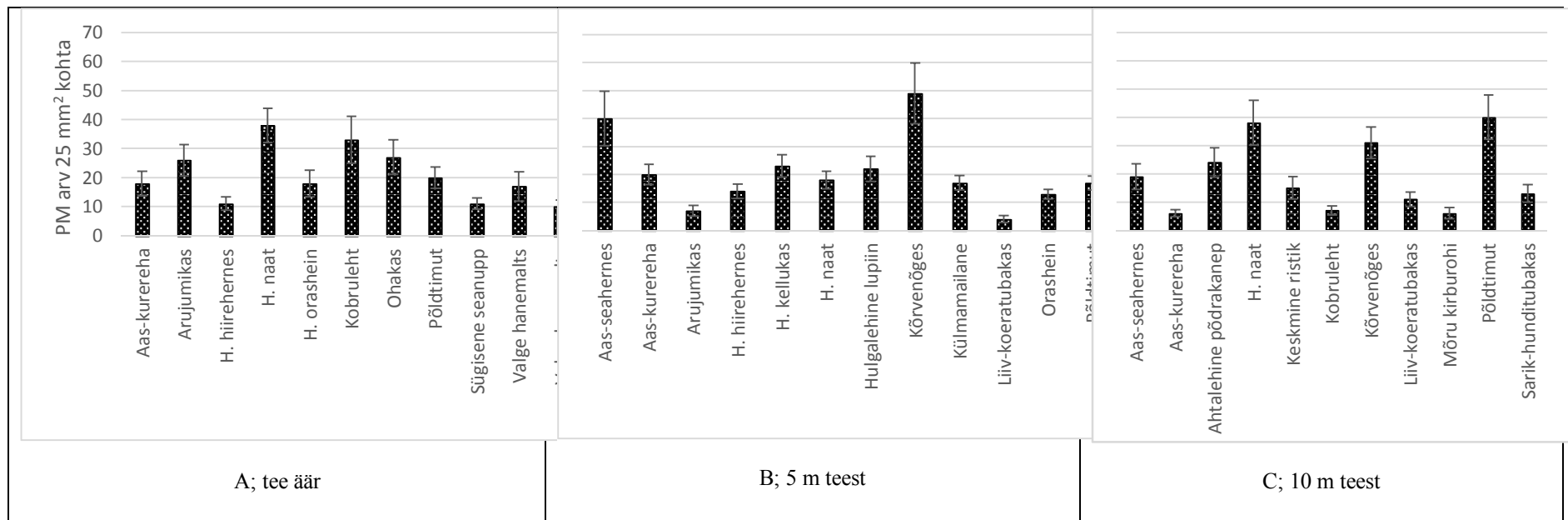
Põlva-Võru maantee äärest koguti kokku 10 taimeliiki (joonis 5, A). Vaatlustulemuste põhjal oli ladestunud saasteosakeste arv liikide lehtedel sarnane, kuid suuremat osakeste kogunemise tendentsi näitas keskmise ristiku ja väiksemat võilill. Tartu-Valga maantee äär oli vaatluskohtadest liigirikkaim ja kokku koguti sealt 12 taimeliiki (joonis 5, B). Ülekaalukas saasteosakeste arv loendati aas-seaherne, kõrvenõgese ja võilille lehtedel. Vähem osakesi loendati orasheina ja põldtimuti lehtedelt. Tartu-Värskas maantee äärest koguti 8 taimeliiki (joonis 5, C). Saasteosakeste arv oli suurim paiselehel ja kõrvenõgesel ning väikseim h. hiireherne lehtedel. Tallinn-Luhamaa maantee äär oli vaatluskohtadest väikseima taimeliikide (6) arvuga (joonis 5, D). Enam saasteosakesi loendati h. naadi lehtedelt. Väiksem saasteosakeste arv loendati arujumika, h. hiireherne ja liiv-koeratubaka lehtedelt.

Vaadeldes saasteosakeste arvu taimede lehtedel sõltuvalt nende kasvukoha kaugusest teest selgus, et vahetult tee ääres oli kõige ülekaalukam saasteosakeste koguja võilill (joonis 6,

A). Vähem saasteosakesi loendati aga h. hiireherne, sügisese seanupu ja valge hanemaltsa lehtedelt. 5 m kauguselt maanteest loendati kõige enam saasteosakesi kõrvenõgese ja aasseaherne lehtedelt (joonis 6, B). Väikseim arv saasteosakesi loendati aga arujumika ja liivkoeratubaka lehtedelt. 10 m maanteest varieerus saasteosakeste arv taimeliikide lehtedel enim (joonis 6, C). Saasteosakeste arv oli suurem h. naadi, põldtimuti, kõrvenõgese ja ahtalehise põdrakanepi lehtedel.



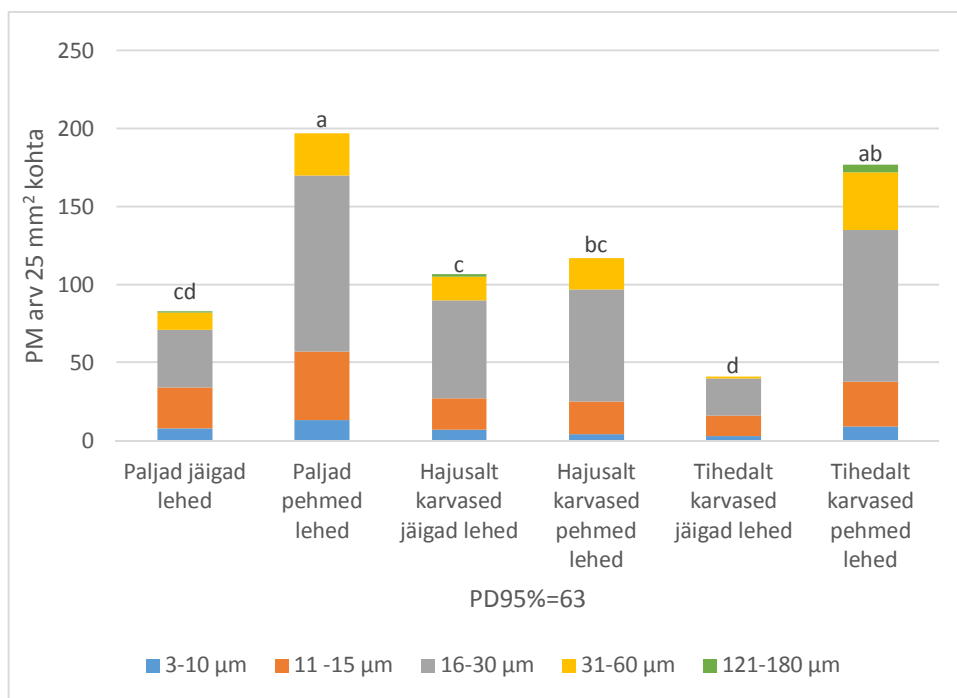
Joonis 5. Saasteosakeste arv Põlva-Võru (A), Tartu-Valga (B), Tartu-Värskas (C) ja Tallinn-Luhamaa (D) tee ääres kasvate erinevate rohtsete taimeliikide lehtedel



Joonis 6. Saasteosakeste arv taimeliikide lehtedel vahetult tee ääres (A), 5 m (B) ja 10 m kaugusel teest (C)

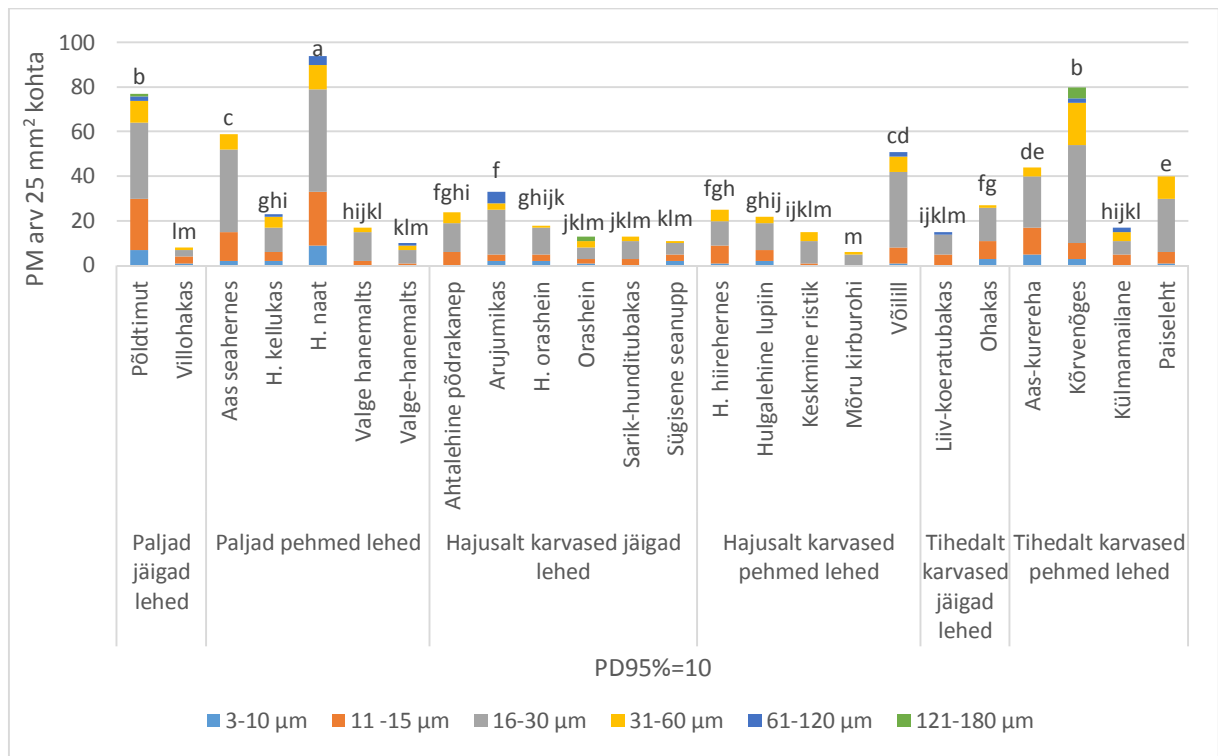
4.3. Saasteosakeste arv lehe pinnal sõltuvalt lehe ehitusest

Tulemused lähtuvalt lehe morfoloogiast näitasid, et parimad saasteosakeste kogujad olid pehmete paljaste ja tihedalt karvaste pehmete lehtedega taimed (joonis 7). Kõige vähem loendati osakesi tihedalt karvaste jäikade lehtedega taimedelt. Suurimaid 121-180 µm saasteosakesi loendati enim tihedalt karvaste pehmete lehtedega taimedelt, 61-120 µm osakesi loendati võrdselt paljaste pehmete ja hajusalt karvaste jäikade lehtedega taimedelt. 31-60 µm suurusi osakesi loendati enim tihedalt karvaste pehmete lehtedega taimedelt. 16-30 µm suuruses osakesed olid kõikidel lehemorfoloogia tüüpidel ülekaalus, kuid kõige enam loendati neid paljaste pehmete lehtedega taimedelt. 11-15 µm ja 3-10 µm suuruses osakesi loendati samuti enim paljaste pehmete lehtedega taimedelt.



Joonis 7. Saasteosakeste arv sõltuvalt lehe morfoloogiast. Erinevad tähed näitavad statistiliselt usaldusväärset erinevust ($P < 0,05$) tulpade vahel

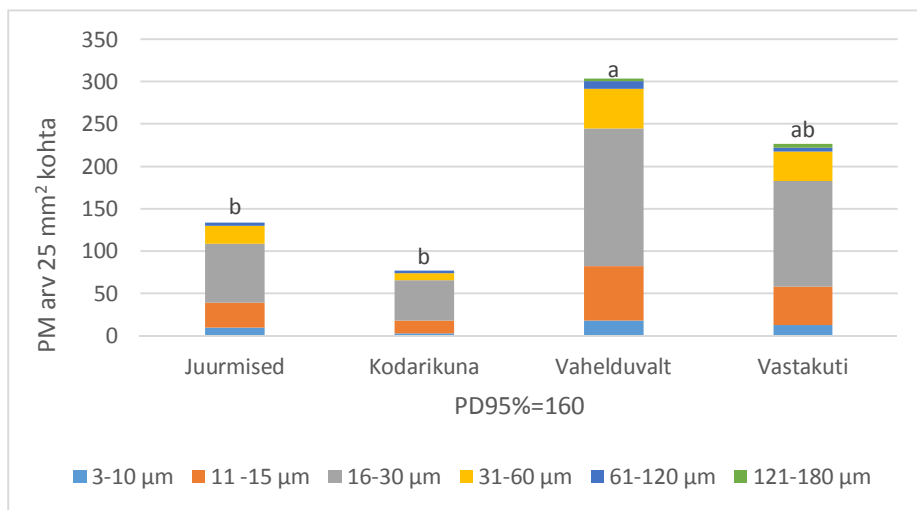
Tulemused näitasid, et sõltuvalt lehe morfoloogiast oli kõige enim liike (6) esindatud rühmast hajusalt karvased jäigad lehed (joonis 8). Saasteosakeste kõige suurem varieeruvus oli rühmas paljaste jäikade ja pehmete lehtedega taimed. Sealjuures suurimad kogujad olid põldtimut ja h. naat.



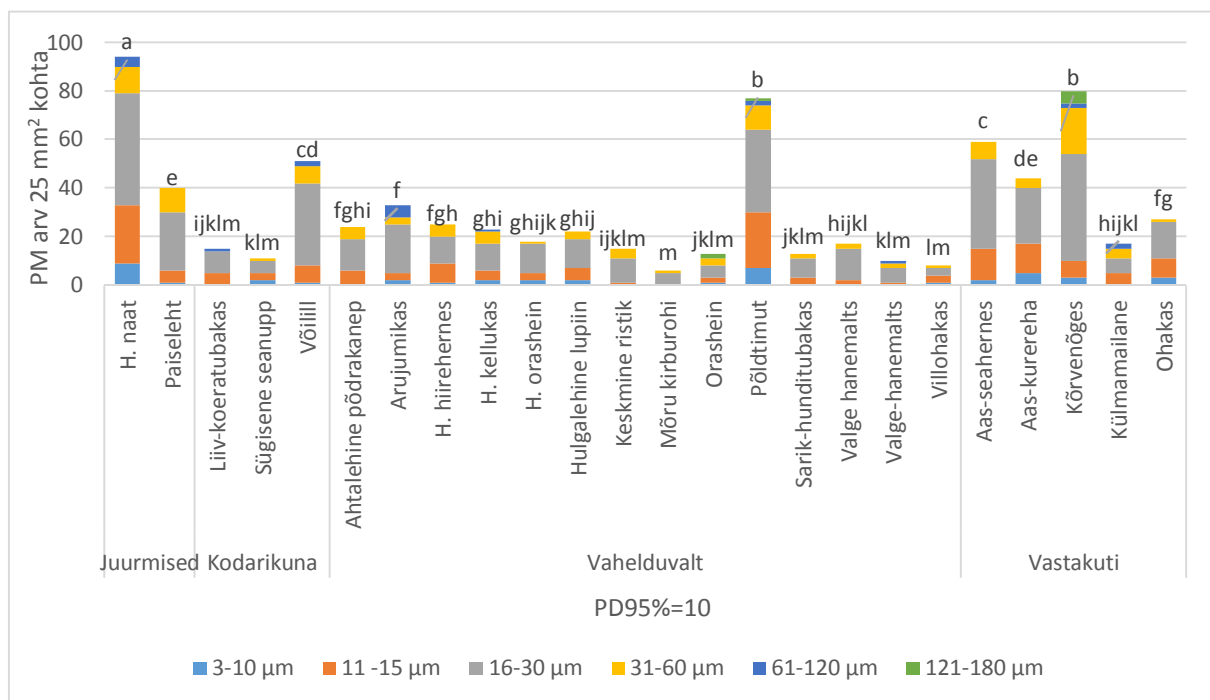
Joonis 8. Saasteosakeste arv sõltuvalt taime liigist ja lehe morfoloogiast. Erinevad tähed näitavad statistiliselt usaldusväärset erinevust ($P < 0,05$) tulpade vahel

4.4. Saasteosakeste arv lehe pinnal sõltuvalt leheseisust

Vaadeldes saasteosakeste arvu lähtuvalt leheseisust selgus, et head saasteosakeste kogujad olid taimed, mille lehed asetsevad kas vahelduvalt või vastakuti (joonis 9). Taimedel, mille lehed olid juurmised või kodarikuna, esines oluliselt vähem saasteosakesi. Kõikide leheseisude korral oli suurim 16-30 µm saasteosakeste arv. Osakeste suurusvahemik 3-10 µm oli ülekaalus vahelduvate lehtedega taimedel, vaid 121-180 µm suuruseid osakesi oli enim vastakuti asetseva leheseisu korral.



Joonis 9. Saasteosakeste arv sõltuvalt taime leheseisust. Erinevad tähed näitavad statistiliselt usaldusväärset erinevust ($P < 0,05$) tulpade vahel



Joonis 10. Saasteosakeste arv sõltuvalt taime leheseisust ja liigist. Erinevad tähed näitavad statistiliselt usaldusväärset erinevust ($P < 0,05$) tulpade vahel

Lähtuvalt taimede leheseisust oli enim liike (14) vahelduva leheseisu rühmas (joonis 10). Sealjuures suurim saasteosakeste arv loendati põldtimuti lehtedelt. Vastakuti asetseva leheseisuga rühma kuulus 5 liiki, millest suurim saasteosakeste arv loendati kõrvenõgese lehtedelt. Kodarikuna paiknes vaid kolme ja juurmiselt kahe liigi lehed, sealjuures suurim

kõigist vaatluse all olnud liikidest oli juurmise leheseisuga h. naadile ladenenud saasteosaksete arv.

5. ARUTELU

Käesolevas töös on vaadeldud kahte linna, Tartusse ja Võrru suunduvate teede servast korjatud rohttaimedele ladenenud saasteosakesi. Taimed korjati vahetult linna piirilt. Arvestades liikluskoormusi ja vaatlusandmeid joonistub selgelt välja, et Tartu linna suunduvate teede osas esines saasteosakesi rohkem Tartu-Valga maantee servast korjatud ja vaadeldud taimedel. Võrru suunduvate teede äärest loendati rohkem saasteosakesi Tallinn-Luhamaa maantee servast korjatud taimedel.

Mõlemad valitud linnad on nn piirkonna tõmbekeskused, kuhu inimesed käivad tööle-kooli ka väljastpoolt linna territooriumit, kasutades selleks reeglina mingit transpordivahendit (auto, buss). Ka Maanteeameti loendusandmete kohaselt oli aastane keskmine ööpäevane liiklussagedus kõrgem vastavalt Tartu suunast vaadatuna just Jõhvi-Tartu-Valga maanteel ja Võru suunast Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maanteel (Liiklussageduse statistika 2016). Seega võib järeldada, et tihedama liiklusega teede servades kasvavatel taimedel esines rohkem saasteosakesi, kui madalama liiklustihedusega teede servades vaadeldud taimedel. Samale järeldusele on jõudnud ka Weber *et al.* (2014), kes on leidnud, et õhu saasteosakeste ladestumine lehepinnale vastab koha spetsiifilisele liiklustihedusele, kuid erineb vastavalt sellele, mis liiki saasteosakeste ja taimeliikidega on tegemist. Samuti on Panda ja Rai (2015) leidnud, et tiheda liiklusega teede äärsed taimed toimivad kui ökoloogilised õhusaaste filtrid, eriti olukorras, kus muuhulgas kiire industrialiseerimine, linnastumine ja majanduskasvust tulenev õhusaaste häirib ökosüsteemide puhtast keskkonda. Taimestiku olulist rolli tiheda inimasustusega piirkondades, kaasa arvatud sõiduteede ääres, on rõhutatud ka uurimustes, kus vaadeldi inimeste elukeskkonna parandamist ohtliku õhureostuse vähendamise abil (Litschke, Kuttler 2008; Weber *et al.* 2014). Kuna linnade lähiümbrusesse on viimastel aastatel rajatud ka nn kergliiklusteid, siis on Vos *et al.* (2013) leidnud, et rohelised läbitungimatud tõkked on tõhusad kaitsmaks jalgteedel liikujaid saasteosakeste eest. Käesoleva uurimuse valikus olnud teelõikudel rohelisi tõkkeid ei esinenud, seega ei mõjutanud need uurimuse tulemusi, külla aga võib soovitada roheribade rajamist tiheda liiklusega piirnevate jalgteede ja maanteede vahele.

Hekkide ja roheliste tõkete toime on niikaua ebaoluline, kui nende kõrgus on alla 1 meetri. Kõrguse suurenedes on täheldatud, et tänu rohelisele barjäärile jõuab jalgteele madalam saasteainete kontsentratsioon. Samas oluliselt kõrgema heki puhul suureneb saasteainete kontsentratsioon ventilatsiooni vähenemise tõttu (Vos *et al.* 2013). Käesolevas töös küll ei vaadeldud saasteosakeste hulka lähtuvalt taimede kõrgusest, aga Honour (2009) on välja toonud, et kõrgekasvulised taimed, mille lehed olid mööda tüve ühtlaselt jaotunud koguvad rohkem saasteosakesi, kui madalakasvulised taimed.

Võrreldes saasteosakeste arvu lehtede pinnal teede kaugusest lähtuvalt, siis kõige rohkem loendati osakesi vahetult tee äärest korjatud taimedel. Teest 5 ja 10 m kaugusel olid näitajad suhteliselt võrdsed. Samas kui vaadeldi taimi teede asukoha lõikes ja võrreldi tulemusi tee äärest, 5 m ja 10 m kauguselt korjatud taimedel, siis vahetult tee ääres loendati kõige rohkem saasteosakesi Tartu-Valga maantee servast korjatud taimedel. Järgnesid vastavalt Tallinn-Luhamaa mnt, Tartu-Värskas mnt ning Põlva-Võru mnt. 5 m teest vaadeldud taimedel oli põhimõtteliselt muster sama, ainult, et oluliselt rohkem loendati saasteosakesi Tartu-Valga maantee servast korjatud taimedel. Teiste töös vaadeldud teede osas olid 5 m näitajad madalamad, kui vahetult tee servast korjatud taimedel. 10 m kaugusel teest korjatud taimedel jagunesid saasteosakesed suhteliselt võrdselt, selget ülekaalu ei joonistunud ühelgi maanteel. Siit võib järeldada, et taimed töötavad saasteainete kogujana paremini vahetult tee servas ja ka 5 m kaugusel teest. Samale järeldusele jõudsid oma uuringus ka Litschke ja Kuttler (2008), kui väitsid, et parema tulemuse saavutamiseks peab taimestik olema reostusallikale võimalikult lähedal, kuna ladestuva tolmu mass väheneb astmeliselt reostusallikast kaugenemisega. Kahjuks ei olnud üheski antud töö tarbeks uuritud artiklis kasutatud analoogset vaatlusviisi (taimestikku vaadeldi erinevatel kaugustel teest) ning täpset võrdlusmaterjali ei ole. Seega võib järeldada, et saasteosakeste hulga ja tee kasutustiheduse vahel on olemas selge seos.

Antud uurimuse raames vaadeldi erinevaid taimeliike, kokku 22. Paljudes vaatluskohtades taimed kordusid, kuna üldiselt on teeäärne taimestik liigivaene ja taimi ei korjatud ka väga suurelt alalt (1 m² suuruselt alalt). Liikidest olid esinduslikumad saasteosakeste korjajad aas-seahernes, kõrvenõges, võilill ja harilik naat. Seega võib väita, et seos liigi ja saasteosakeste kogumisvõime vahel olemas. Honour (2009) on oma uuringus märkinud ära rohtsed taimeliigid, mida võiks kasutada saasteosakeste kogumiseks haljastuses. Huvitav on asjaolu, et nii mõnedki märgitud liigid nagu näiteks paljas võõrkakar, harilik puju, valge hanemalts esinevad meil umbrohuna. Samas teadmine, et katses olnud umbrohud on väärtuslikud

maantee äärsete saasteosakeste kogujana tõstab see ehk nende väärtust inimeste silmis. Ainuke mure on see, et kuidas need liigid saaksid õigesse kohta kasvama (köögiviljade keskelt maanteede serva).

Käesolevas töös jaotati lehe morfoloogiat silmas pidades lehed vastavalt, kas paljad jäigad lehed, paljad pehmed lehed, hajusalt karvased jäigad lehed, hajusalt karvased pehmed lehed, tihedalt karvased jäigad lehed ja tihedalt karvased pehmed lehed. Lehetunnuste järgi esines vaatlusaladel kõige enam tihedalt karvaste pehmete lehtedega ning hajusalt karvaste jäikade lehtedega taimi. Kõige vähem esines tihedalt karvaste jäikade lehtedega ning paljaste jäikade lehtedega taimi. Samas saasteosakesi kogunes kõige rohkem paljaste pehmete lehtedega ning tihedalt karvaste pehmete lehtedega taimedele. Kõige rohkem esines kõigil lehetüüpidel saasteosakesi suuruses 16-30 µm. Samas on varasemates uurimustes Honour *et al.* (2009) leidnud, et tiheda karvasusega lehed püüavad kinni oluliselt rohkem osakesi, kui siledalehelised liigid, kus lehtede karvakesed asusid hajusalt või puudusid üldse. Erinevates uuringutes on leitud, et lehe pinna suurenenud karedusel, mis tuleneb kolmemõõtmelisest lehe struktuurist (nt karvad, näärmel, vaod), on oluline roll osakeste ladestumisel (Yunus *et al.* 1985; Litschke, Kuttler 2008; Jamil *et al.* 2009; Mitchell *et al.* 2010). Üldine järeldus oli, et tiheda karvasusega lehed püüavad rohkem osakesi, kui siledalehelised liigid, kus karvakesed asusid hajusalt või puudusid üldse. Samale järeldusele jõuti antud töö raames teostatud vaatluste põhjal, et parimad saasteainete kogujad on tihedalt karvaste pehmete lehtedega taimed (kõrvenõges, paiseleht, aas-kurereha). Pehmele paljaste lehtedega taimede osas läheb antud uurimuse tulemus lahku eelpool tooduga. Huvitav on veel ka asjaolu, et kõige vähem loendati osakesi tihedalt karvaste jäikade lehtedega taimedelt.

Pidades veel silmas osakeste kogunemist lähtuvalt leheseisust (juurmine, kodarikuna, vahelduv ja vastakuti), selgus, et paremini kogusid osakesi taimed, mille lehed asusid kas vahelduvalt või vastakuti. Samuti on Honour *et al.* (2009) leidnud, et õhureostuse ladestumisele aitab kaasa struktuurselt mitmekesine teeäärne vegetatsioon, millel on külluslik ja erinevatel kõrgustel asuv lehestik. Siinjuures tuleb tõdeda, et vaadeldud teede teeäärne vegetatsioon on ikkagi suhteliselt liigivaene ja väga mitmekesise leheseisuga taimi seal ei esine. Olulisel hulgal esines seal taimi, mille leheseis oli vahelduv, kuigi häid saasteosakeste kogujaid esines kõigis neljas leheseisu grupis.

KOKKUVÕTE

Tänapäeva kiire elutempo ja linnastumise osaks on erinevate transpordivahendite kasutamise vajadus ning sellega kaasnev õhusaaste, millega inimesed peavad toime tulema. Kuna rohttaimedel on võime enda pinnal kinni hoida suurt osa inimese tervist mõjutavaid õhus lenduvaid saasteosakesi, seati magistritöö hüpoteesiks, et rohtsed madalad karvase lehepinnaga pinnakattetaimed on paremad saasteosakeste kogujad kui sileda lehepinnaga taimed. Teiseks hüpoteesiks seati, et mida kaugemal kasvab taim tee servast, seda väiksem on ka lehe pinnal ladestuvate saasteosakeste hulk. Uurimuse eesmärk oli välja selgitada tiheda liiklusega maanteede ääres kasvavate rohtsete taimed saasteosakeste ladestumisvõime.

Saasteosakeste ladenemist taimede lehtedel vaadeldi kahe erineva liiklustihedusega tee ääres, mis suunduvad Tartu ja Võru linna. Taimmaterjal korjati vahetult tee äärest, 5 m ja 10 m kauguselt tee servast. Vaatluse käigus selgitati maanteede ääres kasvavate taimede liigiline koostis ja seejärel klassifitseeriti taimed lehepinna morfoloogia ning leheseisu järgi. Saasteosakesi lehe pinnal vaadeldi kuue suurusklassi kaupa.

Uurimuse tulemusest selgus, et:

- Kõige rohkem loendati saasteosakesi vahetult tee äärest korjatud taimedel.
- Suurim saasteosakeste arv lehe pinnal oli suurusklassis 16-30 μm .
- Kõige vähem esines lehe pinnal saasteosakesi suurusklassist 121-180 μm .
- Saasteosakeste arv lehe pinnal oli suurim Tartu-Valga maanteel 5 meetri kaugusel teest.
- Taimeliikidest esines enam saasteosakesi hariliku naadi, kõrvenõgese ja põldtimuti lehtede pinnal.
- Saasteosakesi esines vahetult tee ääres kõige rohkem võilille, 5 m teest kõrvenõgese ning 10 m teest põldtimuti ja hariliku naadi lehtede pinnal.
- Lähtuvalt lehe morfoloogiast olid parimad saasteosakeste kogujad pehmete paljaste ja tihedalt karvaste lehtedega taimed, kuid kõige rohkem liike oli rühmast hajusalt karvased jäigad lehed.

- Leheseisust lähtuvalt esines enam saasteosakesi taimedel, mille lehed asetsesid vahelduvalt ja sellesse rühma kuulus ka kõige rohkem taimeliike.

Uurimuse tulemustest võib kokkuvõtvalt järeldada, et liiklustihedus ja taime kasvukoha kaugus tee servast mõjutab saasteosakeste hulka rohtsete taimede lehtede pinnal. Saasteosakeste ladestumise hulk lehepinnal sõltub aga liigist ja selle lehe morfoloogiast. Seatud hüpotees, et karvase lehepinnaga taimed on paremad saasteosakeste kogujad ja mida kaugemal taim tee servast kasvab, seda väiksem on lehe pinnale ladestuvate saasteosakeste hulk, leidis kinnitust. Mis puudutab teist hüpoteesi, et karvase lehepinnaga taimed on paremad saasteosakeste kogujad kui sileda lehepinnaga taimed, siis see antud töö raames kinnitust ei leidnud, sest karvase lehepinnaga taimede kõrval olid head saasteosakeste kogujad ka pehmete siledade lehtedega taimed.

Uurimuse puudusena võib välja tuua vaatlusperioodi lühidust ja keskendumist ainult rohtsetele taimedele. Saasteosakeste hulga kohta täpsema ülevaate saamiseks tuleks vaadelda ka teede servades kasvavate puittaimede lehti, kuna lehed püsivad puul terve vegetatsiooniperioodi ja annavad seetõttu täpsema ülevaate. Praktikas on teada, et tee ääri niidetakse suve jooksul korduvalt ning seetõttu ei ole võimalik taimelehtedelt pikaajalist saasteosakeste seisu lugeda. Edasistes uurimustes võiks keskenduda saasteosakeste hulga vaatlusele ja võrdlusele vahetult enne ning pärast sademeid, selgitamaks, kui palju mõjutavad sademed saasteosakeste arvu taimede lehtedel. Uurimuse põhjal võib aga soovitada, et teede ääred peaksid säilima rohelistena, eriti tiheda liiklusega ja inimeste poolt asustatud kohtades ning taimestik peab olema reostusele võimalikult lähedal.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Ackerly, D.D., Bazzaz, F.A.** (1995). Plant-growth and reproduction along CO₂ gradients –nonlinear responses and implications for community change. – *Global Change Biology*. Vol. 1, No. 3, pp. 199–207.
2. **Anttila, P., Ojanen, M., Puhakka, M., Vuorisalo, T., Frey, T.** (1996). Globaalsed keskkonnaprobleemid. Tartu: Tallinna Tehnikaülikool. 153 lk.
3. **Bealey, W.J., McDonald, A.G., Nemitz, E., Donovan, R., Dragosits, U., Duffy, T.R., Fowler, D.** (2007). Estimating the reduction of urban PM₁₀ concentrations by trees within an environmental information system for planners. – *J Environ Manage*. Vol. 85, No. 1, pp. 44-58.
4. **Cape, J.N.** (1994). Evaluation of pollutant critical levels from leaf surface characteristics. – *Air Pollutants and the Leaf Cuticle*. pp. 123–138.
5. **Cape, J.N., Percy, K.E.** (1993). Environmental influences on the development of spruce needle cuticles. – *New Phytologist*. Vol. 125, No. 4, pp. 125, 787–799.
6. **Chauhan, A.** (2010). Photosynthetic pigment changes in some selected trees induced by automobile exhaust in Dehradun, Uttarakhand. – *New York Science Journal* 3, 45-51.
7. **Collins, C.D., Bell, J.N.B.** (2002). Effects of volatile organic compounds. In: Bell, J.N.B., Treshow, M. (Eds.). – *Air Pollution and Plant Life*. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, pp. 173–186.
8. **Colville, R.N., Hutchinson, E.J., Mindell, J.S., Warren, R.F.** (2001). The transport sectoras as a source of air pollution. – *Atmospheric Environment*. Vol. 35, No. 9, pp. 1537–1565.
9. Eesti meteoroloogia aastaraamat 2016. – Riigi Ilmateenistus. http://www.ilmateenistus.ee/wp-content/uploads/2013/01/aastaraamat_2016.pdf (01.04.2017).
10. **Farmer, A.M.** (1993). The effects of dust on vegetation – a review. – *Environmental Pollution*. Vol. 79, No. 1, pp. 6–75.
11. **Ghorbanli, M., Bakand, Z., Bakhshi khaniki, G., Bakand, S.** (2007). Air pollution effects on the activity of antioxidant enzyme in Nerium oleander and Robinia pseudo

- acacia plants in Tehran. – *Journal of Environmental Health Science Engineering*. Vol. 4, No 3. pp.157-162.
12. **Gratani, L., Crescente, M.F., Petruzzi, C.** (2000). Relationship between leaf life-span and photosynthetic activity of *Quercus ilex* in polluted urban areas (Rome). – *Environmental Pollution*. Vol. 110, No. 1, pp. 19–28.
 13. **Honour, S.L., Bell, J.N.B., Ashenden, T.W., Cape, J.N., Power, S.A.** (2009). Responses of herbaceous plants to urban air pollution: Effects on growth, phenology and leaf surface characteristics. – *Environmental Pollution*. Vol. 157, No. 4, pp. 1279-1286.
 14. **Jamil, S., Abhilash, P.C., Singh, A., Singh, N., Behl, H.M.** (2009). Fly ash trapping and metal accumulating capacity of plants: implication for green belt around thermal power plants. – *Landscape and Urban Planning*. Vol. 92, No. 2, pp. 136-147.
 15. **Kardel, F., Wuyts, K., Khavaninzhadeh, A.R., Wuytack, T., Babanezhad, M., Smason, R.** (2013). Comparison of leaf saturation isothermal remanent magnetisation (SIRM) with anatomical, morphological and physiological tree leaf characteristics for assessing urban habitat quality. – *Environmental Pollution*. Vol. 183, pp. 96-103.
 16. **Kardel, F., Wuyts, K., Maher, B.A., Hansard, R., Samson, R.** (2011). Leaf saturation isothermal remanent magnetization (SIRM) as a proxy for particulate matter monitoring: inter-species differences and in-season variation. – *Atmospheric Environment*. Vol. 45, No 29, pp. 5164-5171.
 17. **Karu, H., Liblik, V.** (2004). Piire ületav õhusaaste. Tallinn: Keskkonnaministeerium.
 18. **Kim K.-H., Jahan S.A., Kabir E.** (2013). A review on human health perspective of air pollution with respect to allergies and asthma. – *Environment International*. Vol. 59, pp. 41–52.
 19. **Kinney P.L.** (2008). Climate change, air quality, and human health. – *American Journal of Preventive Medicine*. Vol. 35, No. 5, pp. 459–467.
 20. **Koorits, A., Nei, L.** (1998). Sissejuhatus keskkonnakeemiasse. Tartu: Keskkonnakaitse Instituut.
 21. **Krall, H., Kukk, T., Kull, T., Kuusik, V., Leht, M., Oja, T., Reier, Ü., Sepp, S., Zingel, H., Tuulik, T.** (2007). Eesti taimede määraja. Tartu: EMÜ Põllumajanduse- ja keskkonnainstituut.
 22. Liiklussageduse statistika 2015. – Maanteeamet.
<https://www.mnt.ee/et/ametist/statistika/liiklussageduse-statistika> (7.12.2016).
 23. **Litschke, T., Kuttler, W.** (2008). On the reduction of urban particle concentration by vegetation – a review. *Meteorologische Zeitschrift*. – Vol. 17, No. 3, pp. 229-240.

24. **Maher, B.A., Moore, C., Matzka, J.** (2008). Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. – *Atmospheric Environment*. Vol. 42, No. 2, pp. 364-373.
25. **Mitchell, R., Maher, B.A.** (2009). Evaluation and application of biomagnetic monitoring of traffic-derived particulate pollution. – *Atmospheric Environment*. Vol. 43, No. 13, pp. 2095-2103.
26. **Mitchell, R., Maher, B.A., Kinnersley, R.** (2010). Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: Temporal and inter-species magnetic analyses. – *Environmental Pollution*. Vol. 158, No. 5, pp. 1472-1478.
27. **Orru, H.** (2007). Välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele Tallinna linnas. Tartu Ülikool.
28. **Panda, L.S., Rai, P.K.** (2015). Roadside plants – Study on Eco-sustainability. *Lambert Publisher, Germany*.
29. **Rai, P.K.** (2008). Heavy-metal pollution in aquatic ecosystems and its phytoremediation using wetland plants: an ecosustainable approach. – *International Journal of Phytoremediation*. Vol. 10, No. 2, pp.133-160.
30. **Rai, P.K.** (2009). Heavy Metal Phytoremediation from Aquatic Ecosystems with Special Reference to Macrophytes. – *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Vol. 39, No. 9, pp. 697-753.
31. **Rai, P.K.** (2012). An eco-sustainable green approach for heavy metals management: two case studies of developing industrial region. – *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 184, No. 1, pp. 421-448.
32. **Rai, P.K.** (2015). Biodiversity of roadside plants and their response to air pollution in an Indo-Burma hotspot region: implications for urban ecosystem restoration. – *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. Vol. 9, No. 1, pp. 47-55.
33. **Riederer, M., Jetter, R., Markstaedter, C., Schreiber, L.** (1994). Air pollutants and the cuticle: implications for plant physiology. – *Air Pollutants and the Leaf Cuticle*. Springer.
34. Riiklik teeregister 2017. – Maanteeamet. <https://teeregister.riik.ee/mnt/index.do> (09.05.2017).
35. **Saarinen, T., Liski, J.** (1993). The effect of industrial air pollution on chlorophyll fluorescence and pigment contents of Scots pine (*Pinus sylvestris*) needles. – *European Journal of Forest Pathology*. Vol. 23, No. 6-7, pp. 353-361.

36. **Sharifi, M.R., Gibson, A.C., Rundel, P.W.** (1997). Surface Dust Impacts on Gas Exchange in Mojave Desert Shrubs. – *Journal of Applied Ecology*. Vol. 34, No. 4, pp. 837-846.
37. **Shweta, T.** (2012). Foliar response of two species of Cassia to heavy air pollution load at Indore city, India. – *Research Journal of Recent Science*. Vol. 1, pp. 329-332.
38. Sõiduaautode arv 1000 elaniku kohta Eesti linnades 2013. - Eesti Statistikaamet.
[http:// statistikaamet.wordpress.com](http://statistikaamet.wordpress.com) (20.01.2016).
39. **Tripathi, A.K., Gautam, M.** (2007). Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. – *Journal of Environmental Biology*. Vol. 28, No. 1, pp. 127-132.
40. **Varshney, S.R.K., Varshney, C.K.** (1985). Response of peroxidase to low levels of SO₂. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 25, No. 2, pp. 107-114.
41. **Weber, F., Kowarik, I., Säumel I.** (2014). Herbaceous plants as filters: Immobilization of particulates along urban street corridors. – *Environmetnal Pollution*. Vol. 186, pp. 234-240.
42. **Verma, A., Singh, S.N.** (2006). Biochemical and Ultrastructural Changes in Plant Foliage Exposed to Auto-Pollution. – *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 120, No. 1, pp. 585-602.
43. **Vos, P.E.J., Maiheu, B., Vankerkom, J., Janssen, S.** (2013). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? – *Environmental Pollution*. Vol. 183, pp. 113-122.
44. **Yunus, M., Dwivedi, A.K., Kulshreshtha, K., Ahmad, K.J.** (1985). Dust loading on some common plants near Lucknow City. – *Environmental Pollution. Series B, Chemical and Physical*. Vol. 9, No. 1, pp. 71-80.

Accumulation of polluting agents on herbaceous plants on the edges of roads

SUMMARY

The need to use different vehicles and concurrent pollution is all part of today's fast-paced life and urbanisation (place of habitation and work), and humans have to deal with. Since herbaceous plants are able to catch on their surface large amounts of airborne pollution agents which can influence humans' health, the hypothesis of this Master's thesis set forth that low-growing herbaceous ground cover plants with hairy leaf surface are better gatherers of pollution agents than plants with smooth leaf surface. The second hypothesis states that the further the plant grows from the edge of the road the smaller the amount of pollution agents, which accumulate on the surface of the leaves. The purpose of the study was to examine the ability of herbaceous plants to accumulate polluting agents near roads with heavy traffic.

The accumulation of polluting agents on the leaves of herbaceous plants was observed near two different roads, which head towards Võru and Tartu. Foliage was collected directly from the edge of the road - 5 and 10 m from the road. Observation identified the species composition of the plants growing near roads and classified plants according to leaf surface morphology and foliage structure. Pollution agents on the surface of the leaves were divided into six categories by particle size.

The results showed the following:

- The highest number of polluting agents was counted on plants that were gathered directly from the edge of the road.
- The size category with the highest number of polluting agents on the surface of the leaves was the 16-30 μm category.

- The size category with the lowest number of polluting agents was the 121-180 μm category.
- Herbaceous plants by the side of the road heading from Tartu to Valga – 5 m from the road – had the highest number of polluting agents.
- Polluting agents occurred most on the surface of the leaves of Ground elders, Stinging-nettles and Timothy-grass.
- Polluting agents were most abundant on Dandelion leaves for plants growing directly by the roadside, on Stinging-nettle for plants growing 5 m from the road, and on Timothy-grass and Ground elder for plants growing 10 m from the road.
- Based on leaf morphology, the best gatherers of polluting agents were plants with soft leaves with a smooth or densely hairy surface; most species of plants with polluting agents belonged to the group of plants with sparsely hairy stiff leaves.
- On the basis of phyllotaxis, pollution agents occurred most on plants the leaves of which were situated intermittently; this was also the largest group in terms of different species.

In conclusion, traffic density and plant habitat distance from the edge of the road affects the amount of polluting agents on the surface of herbaceous plants. The amount of polluting agents on the surface of the leaves, however, depends of the particular species and the morphology of the leaf. The study confirmed the hypothesis, that plants with hairy leaves are better gatherers of pollution agents and that the further the plant grows from the edge of the road, the smaller the amount of pollution agents accumulating on the surface. No evidence was found to support the second hypothesis, which stated that plants with hairy leaves are better gatherers of pollution agents than plants with smooth leaves, because plants with a smooth leaf surface are just as effective for gathering pollution as plants with hairy leaves.

The possible shortcomings of the study are reflected in the short observation period and focus on herbaceous plants. In order to get a more precise overview of the amount of pollution agents, the leaves of woody plants growing by the roadside should also be examined, as leaves remain on the trees for the whole vegetation period and would therefore provide a more precise overview. In practice, the edges of roads are repeatedly mown during the summer, effectively making it impossible to observe the long-term accumulation of pollution agents on plant leaves. Further studies in the field could focus on the observation and comparison of the amount of pollution agents on plants immediately before and after precipitation in order to determine how much precipitation affects the number of pollution

agents on the leaves of plants. Based on the results of the study, it could be suggested that the edges of roads should remain green, especially near places with heavy traffic and human population, and that vegetation should be as close as possible to the source of pollution.

LISAD

Lisa 1. Vaatluskoha fotod



Joonis 11. Vaatluskoht Jõhvi-Tartu-Valga maanteel. *Allikas:* E. Laidma



Joonis 12. Vaatluskoht Tartu-Räpina-Värska maanteel. *Allikas:* E. Laidma



Joonis 13. Vaatluskoht Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maanteel. *Allikas:* E. Laidma



Joonis 14. Vaatluskoht Võru-Põlva maanteel. *Allikas:* E. Laidma

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Eleri Laidma (sünnipäev 05.07.1974)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

SAASTEOSAKESTE LADESTUMINE ROHTSETELE TAIMEDELE MAANTEEDE
ÄÄRES,

mille juhendaja on Ele Vool,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

allkiri

Tartu, _____

kuupäev

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)